



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**ULISSES SIDNEI DA CONCEIÇÃO SILVA**

**Derruba Direcionada de Árvores na Floresta Nacional do Tapajós  
- Amazônia Oriental: Fatores que influenciam e  
Precisão**

**BELÉM – PA  
OUTUBRO de 2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586d Silva, Ulisses Sidnei da Conceição  
Derruba Direcionada de Árvores na Floresta Nacional do Tapajós - Amazônia Oriental :  
Fatores que Influenciam e Precisão / Ulisses Sidnei da Conceição Silva. - 2021.  
93 f. : il. color.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF),  
Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.  
Orientador: Prof. Dr. Ademir Roberto Ruschel  
Coorientador: Profa. Dra. Iolanda Maria Soares Reis.

1. Exploração Florestal. 2. Exploração Florestal de Impacto Reduzido. 3. Operações  
Florestais. 4. Derruba Direcionada de Árvores. 5. Manejo Florestal. I. Ruschel, Ademir  
Roberto, orient. II. Título

---

634.9809811

CDD

**ULISSES SIDNEI DA CONCEIÇÃO SILVA**

**Derruba Direcionada de Árvores na Floresta Nacional do Tapajós  
- Amazônia Oriental: Fatores que influenciam e  
Precisão**

**Tese apresentada à Universidade Federal Rural da  
Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-  
graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título  
de Doutor em Ciências Florestais.**

**Linha de pesquisa: Manejo de Ecossistemas de Florestas  
Nativas e Plantadas.**

**Orientador: Dr. Ademir Roberto Ruschel  
Coorientadora: Dra. Iolanda Maria Soares Reis**

**BELÉM – PA  
OUTUBRO de 2021**

**ULISSES SIDNEI DA CONCEIÇÃO SILVA**

**Derruba Direcionada de Árvores na Floresta Nacional do Tapajós  
- Amazônia Oriental: Fatores que influenciam e  
Precisão**

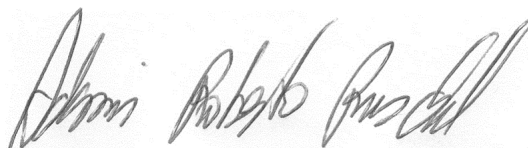
Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Linha de pesquisa: Manejo de Ecossistemas de Florestas Nativas e Plantadas.

Orientador: Dr. Ademir Roberto Ruschel  
Coorientadora: Dra. Iolanda Maria Soares Reis

Aprovado em 29 de outubro de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



---

**Dr. Ademir Roberto Ruschel**  
Embrapa Amazônia Oriental  
(Presidente)



---

**Dr. Edson Vidal da Silva**  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"  
Universidade de São Paulo  
(1º Avaliador)



---

**Dr. Evaldo Munõz Braz**  
Embrapa Florestas  
(2º Avaliador)



---

**Dr. César Augusto Tenório de Lima**  
Universidade Federal Rural da Amazônia  
(3º Avaliador)



---

**Dr. Moisés Cordeiro Mourão de Oliveira Júnior**  
Embrapa Amazônia Oriental  
(4º Avaliador)

**Dedicatória**

Ao meu pai Walter Corrêa da Silva (*in momorian*).

**Oferecimento**

À minha mãe Joana da Conceição Silva.

## **Agradecimentos**

À Deus todo poderoso, por ter me dado saúde e ânimo nos momentos difíceis;

Ao Instituto de Biodiversidade e Florestas da Universidade Federal do Oeste do Pará pela liberação para cursar o Doutorado em Ciências Florestais;

Ao Dr. Ademir Roberto Ruschel pela orientação, incentivo, cordialidade, paciência e amizade em todas as fases de planejamento e execução desta tese de doutorado;

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, representado pelos coordenadores Dr. Francisco de Assis Oliveira (2017-2018) e Dra. Lina Bufalino (2018-2021), bem como a secretária Andreza Pereira;

Aos professores da Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, em especial, cronologicamente: Dra. Izildinha de Souza Miranda, Dr. João Olegário Pereira de Carvalho, Dr. José Natalino Macedo Silva, Dr. Ademir Roberto Ruschel e Dr. Francisco de Assis Oliveira;

Ao chefe da Floresta Nacional do Tapajós, José Risonei Assis da Silva, e sua equipe pelo auxílio no cadastramento do projeto de pesquisa “Abate direcional de árvores na Exploração Florestal”, bem como nas emissões de autorizações para entrada na Floresta Nacional do Tapajós;

À Cooperativa Mista da Flona Tapajós (Coomflona), pela cessão de dados, permissão e apoio nas coletas de campo e aos seus funcionários Jean Feitosa, Sérgio Pimentel, Marcelene Farias, Elen Samara e Lauricélio Vieira;

Ao Eng. Florestal da Coomflona, Carlos Richele Braga Ferreira pelo incentivo e apoio nas fases de campo;

À todas as equipes de derruba (motosserristas e ajudantes) e aos coletores de dados (“Tigretes”) pela aquisição das informações em campo;

À namorada, amiga, companheira, conselheira e coorientadora professora Dra. Iolanda Maria Soares Reis, pelo amor, apoio, incentivo e paciência à minha pessoa nessa jornada;

Ao amigo e compadre Renato Bezerra da Silva Ribeiro, pelo apoio incondicional nas realizações das várias missões as quais lhe foram incumbidas;

Aos amigos Jurandy Batista Dantas, Jeremias Batista Dantas e Lucian Gomes, pelos vários apoios emergenciais no período das coletas de campo;

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, em especial ao colega e amigo Rodrigo Antônio Pereira Júnior, pelas várias conversas, trocas de ideias e momentos de descontração;

Ao amigo Márcio Hofmann Mota Soares, pelos “auxílios de última hora” na casa do “Bom Manejo” da Embrapa Amônia Oriental.

Ao Eng. Agrônomo Raimundo Parente de Oliveira (*in memoriam*) pelas orientações iniciais para a organização e análise preliminar do banco de dados.

## **Epígrafe**

*“Cada sonho que você deixa pra trás, é um pedaço do seu futuro que deixa de existir”.*

(Steve Jobs)

## RESUMO

Desde a disseminação das práticas de Exploração florestal de impacto Reduzido, na década de 1990, poucas pesquisas foram realizadas no sentido de identificar quais são os fatores que mais influenciam na derruba direcionada, bem como a confirmação da viabilidade operacional desta prática nas atividades de manejo de florestas tropicais. Neste sentido tornam-se necessários estudos mais detalhados das variáveis que influenciam a execução da derruba direcionada de árvores. O objetivo do estudo foi analisar as variações dos ângulos de direcionamento de queda das árvores e avaliar a contribuição desta prática para exploração florestal. O estudo foi conduzido na Floresta Nacional do Tapajós, município de Belterra, Pará, Amazônia brasileira, onde foram selecionadas para a exploração 2.102 árvores com DAP (diâmetro à 1,30 m do solo)  $\geq$  50 cm, em uma área de 504,30 hectares. Deste quantitativo foram consideradas 1.075 árvores (51%) pertencentes a 17 espécies. Para a realização das análises das variáveis foram consideradas 3.225 direções de queda associadas à aplicação de técnicas de derruba direcionada. Para a coleta de dados foram organizadas nove equipes de derruba, as quais foram capacitadas nas diretrizes técnicas de exploração florestal de impacto reduzido. Foram obtidos os tempos de planejamento, corte e derruba de cada árvore derrubada, bem como os seus ângulos de direção de queda natural, queda planejada e queda efetiva. Foram calculadas as diferenças absolutas entre os ângulos de: i) queda natural (QN) e queda planejada (QP); ii) queda planejada (QP) e queda efetiva (QE) e; iii) queda natural (QN) e queda efetiva (QE); de forma a visualizar a variação angular ocorrida entre os procedimentos de derruba direcionada. Para um melhor entendimento da derruba direcionada, foram aplicadas análises descritivas das variáveis envolvidas, bem como de análise de componentes principais, que é uma técnica multivariada que possibilita uma análise conjunta de diversas variáveis simultaneamente. Como resultado das análises descritivas percebeu-se que árvores foram derrubadas com direcionamento de queda predominante para a direção de queda natural ou próximo da direção natural, o que foi evidenciado pela proximidade entre os ângulos de direção de queda natural e planejada (mediana=20 graus), planejada e efetiva (mediana=10 graus) e, natural e efetiva (mediana=27 graus). Mostrando que a atividade de direcionamento de queda de árvores na exploração florestal sofre bastante influência da tendência de queda natural apresentado pela árvore. Na análise multivariada por Componente Principais, constatou-se que as variáveis diâmetro, área basal e volumes de fustes e galhos contribuíram com a maior parte da variabilidade envolvidas na atividade de derruba direcionada. Em geral, as árvores derrubadas não apresentaram correlação com as variáveis tempo de corte e tempo total de operação na derruba direcionada. As análises sugerem que quanto maior o diâmetro, menor será a chance de sucesso no direcionamento de queda de uma árvore.

**Palavras chave:** exploração florestal de impacto reduzido, direção de queda, queda natural, variáveis dendrométricas, motosserristas, análise de componentes principais.



## ABSTRACT

Since the dissemination of the practices concerning Reduced Impact Logging (RIL) in the 1990s, little research has been conducted to identify the factors that most influence directional felling. Scarce are, as well, the studies aiming to confirm the operational viability of this practice within tropical forest management activities. Thus, more detailed studies involving the variables that influence the execution of directional tree felling are necessary. The objective of the present research was to analyze the variations in tree felling angles and evaluate the contribution of this practice to forest harvesting. The study was conducted in the Tapajós National Forest, municipality of Belterra, state of Pará, Brazilian Amazon. Within an area of 504.30 hectares, a total of 2,102 trees with DBH (diameter at 1.30 m from the ground)  $\geq$  50 cm were selected for logging, and 1,075 trees (51%), belonging to 17 species considered for the study. The analyses of the variables included 3,225 felling directions associated with the application of directional felling techniques. Nine cutting teams were organized and trained in the technical guidelines of RIL. Team members quantified the time used for planning, cutting, and felling each tree, as well as the angles regarding its natural lean and the planned and effective felling directions. The angular variation between the directional felling procedures was expressed through the absolute differences between the angles of natural lean (QN) and intended felling direction (QP); QP and effective felling direction (QE); and QN and QE. To better understand directional felling, the studied variables were subjected to descriptive statistics and Principal Component Analysis (PCA), a multivariate technique that enables the simultaneous evaluation of several variables. The results of the descriptive statistics indicated that the logged trees predominately fall towards their natural lean or proximate, as evidenced by the correspondence between QN and QP (median = 20 degrees), QP and QE (median = 10 degrees), and QN and QE (median=27 degrees). These results suggest that the directional felling activity in forest harvesting is strongly influenced by the natural lean of the tree. The PCA indicated that the variables diameter, basal area, and stem and branch volumes contributed the most to the variability associated with the directional felling activity. In general, the felled trees did not correlate with the variables cutting time and total time used for directional felling. The analyses suggest that the larger the diameter of a tree, the lower the chance of successfully conducting its directional felling.

**Keywords:** Reduced Impact Logging, felling direction, tree natural lean, dendrometric variables, chainsaw operators, Principal Component Analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CONTEXTUALIZAÇÃO

Figura 1 -	FLONA do Tapajós e localização da área de coleta de dados .....	22
Figura 2 -	Modelo de formulário utilizado na coleta de dados de derruba direcionada.....	23

### ARTIGO 1

Figura 1 -	Localização da área de estudo da FLONA do Tapajós, Belterra, Pará, Brasil: detalhes da UPA 13 (504,30 ha) da Área de Manejo Florestal, Samambaia.....	33
Figura 2 -	Método de planejamento de derruba direcionada.....	35
Figura 3 -	Método padrão de corte direcional.....	36
Figura 4 -	Percentual de árvores e seus direcionamentos de queda na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	41
Figura 5 -	Direcionamentos de queda quando $Q_N=Q_P$ (A); $Q_P=Q_E$ (B); e $Q_N=Q_E$ (C) na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	42
Figura 6 -	Número de árvores por espécie quando $Q_N=Q_P=Q_E$ na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	46
Figura 7 -	Direcionamentos de queda de árvores quando $Q_N \neq Q_P \neq Q_E$ : $Q_{NP}\%$ (A); $Q_{PE}\%$ (B); $Q_{NE}\%$ (C) na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	47
Figura 8 -	Tempos de planejamento (A), corte (B) e derruba (C) por classe de diâmetro na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	48

### ARTIGO 2

Figura 1 -	Localização da área de estudo da FLONA do Tapajós, Belterra, Pará, Brasil: detalhes da UPA 13 (504,30 ha) da Área de Manejo Florestal, Samambaia.....	65
Figura 2 -	Método de planejamento de derruba direcionada.....	68
Figura 3 -	Método padrão de corte direcional.....	69
Figura 4 -	Distribuição das variáveis por espécie envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	74
Figura 5 -	Análise de correção de Pearson ( $\alpha \leq 0,05$ ) das variáveis envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	75
Figura 6 -	Gráfico biplot com as projeções das variáveis no eixo dos componentes principais.....	77
Figura 7 -	Projeções das observações (espécies) e variáveis nos eixos de componentes principais.....	79

## LISTA DE TABELAS

### Artigo 1

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis por espécie, envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	38
Tabela 2 - Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	38
Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando $QN=QP$ , na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	40
Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando $QP=QE$ na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	43
Tabela 5 - Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando $QN=QE$ na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	44
Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando $QN=QP=QE$ na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	45
Tabela 7 - Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando $QN \neq QP \neq QE$ na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	46
Tabela 8 - Levantamentos relacionados a eficiência da atividade de derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	49

### Artigo 2

Tabela 1 - Valores médios das variáveis por espécie observadas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	73
Tabela 2 - Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil.....	75
Tabela 3 - Variação e proporção dos autovalores nas dimensões utilizadas para a formação dos componentes principais.....	76
Tabela 4 - Valores das correlações/coordenadas das variáveis encontradas nas dimensões dos componentes principais.....	76
Tabela 5 - Variáveis mais significativamente associadas com um determinado componente principal.....	76

## LISTA DE SIGLAS

FLONA	Floresta Nacional
COOMFLONA	Cooperativa Mista da Flona Tapajós
EIR	Exploração de Impacto Reduzido
QN	Queda Natural
QP	Queda Planejada
QE	Queda Efetiva
QNP%	Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em porcentagem
QPE%	Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem
QNE%	Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem
Db	Densidade Básica
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
CAP	Circunferência à Altura do Peito
Basal	Área Basal
VolArv	Volume da Árvore
VolGal	Volume dos Galhos
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
ha	Hectare
AngePedra	Angelim pedra - <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke
CedroRa	Cedrorana - <i>Vochysia maxima</i> Ducke
Cuia	Cuiarana - <i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell
Cuma	Cumarú - <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f.
Cupiú	Cupiúba - <i>Goupia glabra</i> Aubl.
FavaTimb	Fava timborana - <i>Pseudopiptadenia psilostachya</i> (DC.) G.P. Lewis & M.P. Lima
Garap	Garapeira - <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.
Itau	Itaúba - <i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez
Jara	Jarana - <i>Lecythis lúrida</i> (Miers) S. A. Mori
Jato	Jatobá - <i>Hymenaea courbaril</i> L.
JutaiMi	Jutaí mirim - <i>Hymenaea parvifolia</i> Huber
MacaRan	Maçaranduba - <i>Manilkara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach
ManRosa	Mandioqueira rosa - <i>Qualea dinizii</i> Ducke
Muirá	Muiracatiara - <i>Astronium lecointei</i> Ducke
Quaru	Quaruba - <i>Erismia uncinatum</i> Warm.
Sapu	Sapucaia - <i>Lecythis pisonis</i> Cambess.
Taua	Tauari - <i>Couratari guianensis</i> Aubl.

## SUMÁRIO

<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 DERRUBA DIRECIONADA DE ÁRVORES.....	14
1.2 EXPLORAÇÃO FLORESTAL DE IMPACTO REDUZIDO .....	15
1.3 IMPORTÂNCIA DA APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DERRUBA DIRECIONADA DE ÁRVORES .....	16
1.4 DIREÇÃO DE QUEDA NATURAL, PLANEJADA E EFETIVA.....	17
1.5 TÉCNICAS DE CORTE PARA ÁRVORES TROPICAIS.....	18
1.6 TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO.....	19
<b>2. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO DE TESE</b> .....	<b>20</b>
2.1 QUESTÕES E HIPÓTESES CIENTÍFICAS .....	21
2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS.....	21
2.2.1 <i>Local de coleta</i> .....	21
2.2.2 <i>Aquisição de dados em campo</i> .....	22
2.2.3 <i>Digitação, processamento e análise de dados</i> .....	23
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>24</b>
<b>ARTIGO 1: INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE QUEDA NATURAL DA ÁRVORE NA DERRUBA DIRECIONADA EM FLORESTA TROPICAL - AMAZÔNIA ORIENTAL</b> .....	<b>28</b>
RESUMO .....	28
ABSTRACT.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>30</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE PESQUISA.....	32
2.2 COLETA DE DADOS.....	33
2.2.1 <i>Local e período de coleta</i> .....	33
2.2.2 <i>Obtenção de dados</i> .....	33
2.3 MÉTODOS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>
<b>ARTIGO 2: FATORES QUE INFLUENCIAM A DERRUBA DIRECIONADA DE ÁRVORES NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, AMAZÔNIA, BRASIL.</b> .....	<b>58</b>
RESUMO .....	58
ABSTRACT.....	59
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>60</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>64</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE PESQUISA.....	64
2.2 COLETA DE DADOS.....	65
2.2.1 <i>Local e período de coleta</i> .....	65
2.2.2 <i>Obtenção de dados</i> .....	66
2.3 MÉTODOS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	70
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>72</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>80</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>85</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>86</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>93</b>

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

### 1.1 Derruba Direcionada de Árvores

Derruba direcionada de árvores surgiu no século 17, utilizada por lenhadores (VAN der HOUT, 1999). Somente após o término da segunda guerra mundial o uso da motosserra começou a intensificar-se, juntamente com a introdução do trator de esteiras e de caminhões pesados na exploração das florestas, impulsionados pela expansão do comércio mundial de produtos madeireiros (VAN der HOUT, 1999; DYKSTRA, 2002).

Na década de 1930, as técnicas de derruba direcionada com o uso da motosserra começaram a ser introduzidas na silvicultura tropical (JONKERS, 2000) e também em florestas de clima temperado (HEINRICH e ARZBERGER, 2004), com o objetivo de melhorar a eficiência das operações de extração de madeira e restringir os danos às árvores remanescentes (HENDRISON, 1990). Desta forma, houve a necessidade do desenvolvimento de técnicas de corte que garantissem altos padrões de rendimento, eficiência e segurança para o operador nas atividades de derruba, desgalhamento e traçamento de árvores (VAN der HOUT, 1999).

Abate, derruba ou corte direcionado ou planejado são sinônimos que designam um conjunto de procedimentos técnicos executados na exploração florestal, onde a queda de uma árvore é planejada cuidadosamente antes mesmo de derrubá-la (GHAZOUL e HILL, 2001; MASON e PUTZ, 2001; CEDERGREN et al., 2002; HEINRICH e ARZBERGER, 2004; FORSHED et al., 2006; JOURGHOLAMI et al., 2013).

Na década de 1950 a derruba direcionada de árvores foi implementada nas Filipinas, Sudeste Asiático, na tentativa de conter os avanços da degradação ligados a exploração florestal sem planejamento (REYES, 1968 *apud* HENDRISON e de GRAAF, 2011), o que fez com que esse país exaurisse rapidamente os seus recursos madeireiros (JONKERS, 1987). Erosão do solo, infestações por ervas daninhas e incidência de fogo são os principais efeitos do modelo de exploração sem planejamento sobre a biodiversidade e função do ecossistema (PUTZ e PINARD, 1993; BICKNELL et al., 2014; BICKNELL et al., 2015; EDWARDS et al., 2013; EDWARDS et al., 2014).

Uma série de artigos científicos, ainda na década de 1950, quantificaram a natureza e a extensão dos danos associados às operações de extração de madeira em florestas tropicais (DYKSTRA e HEINRICH, 1992). E a partir da década de 1990 as pesquisas enfocaram em uma variedade de técnicas de baixo impacto, conhecidas conjuntamente como Exploração de Impacto Reduzido (EIR), que incluem a derruba direcionada de árvores, o planejamento de abertura de estradas e trilhas de arraste (DYKSTRA e HEINRICH, 1992; CORLETT, 2016).

## **1.2 Exploração Florestal de Impacto Reduzido**

A derruba direcionada começou a ganhar destaque com a difusão das diretrizes de EIR (PUTZ e PINARD, 1993). O objetivo dessas diretrizes era auxiliar na redução dos impactos das emissões de gases do efeito estufa, provenientes da exploração das florestas tropicais (PINARD e PUTZ, 1997; PUTZ et al., 2008). A justificativa era que ao reduzir o número de árvores mortas ou danificadas pela exploração florestal mal conduzida, as perdas de biomassa seriam menores, reduzindo conseqüentemente as emissões de carbono geradas pela decomposição dos resíduos da vegetação, e mantendo a capacidade da floresta em sequestrar carbono (PUTZ e PINARD, 1993; PINARD e PUTZ, 1997).

Desde então, mais de 5.000 artigos foram produzidos (ELLIS e PUTZ, 2019), no sentido de divulgar e estimular a adoção desse modelo de exploração florestal, além de alertar sobre os riscos ambientais implicados pela sua não adoção. Assim a aplicação de técnicas da EIR ganhou importância frente aos desafios ambientais, por proporcionar benefícios econômicos e sociais (HEINRICH e ARZBERGER, 2004).

Na Amazônia a EIR tornou-se componente do manejo florestal, o qual preconiza a aplicação de práticas de exploração cuidadosa, de forma a reduzir os danos à floresta remanescente (JOHNS et al., 1996) em contraposição aos modelos de exploração madeireira convencionalmente realizados na região amazônica (NOGUEIRA et al., 2011), estimulados pela implantação de projetos de desenvolvimento nas décadas de 1960 e 1970 (JOHNS et al., 1996).

A derruba direcionada está entre as práticas mais comuns de EIR (VAN der HOUT, 1999; PUTZ et al., 2008; MOSTACEDO, 2011) e pode ser considerada como a técnica mais divulgada, tornando-se referência neste conceito. Porém, a sua aplicação de maneira isolada, não proporciona todos os benefícios ambientais

esperados (VAN der HOUT, 1999; FORSHED et al., 2006), como quando comparada ao conjunto de técnicas, o qual inclui atividades de zoneamento, censo florestal, corte de cipós, mapeamento árvores de interesse, além do planejamento de sua extração por meio de trilhas, que inclui desde o local da derruba até o pátio de armazenagem, para onde as toras são posteriormente transportadas.

Todas essas atividades são executadas visando o cuidado com o solo florestal, árvores remanescentes, bem como do maquinário empregado, priorizando sempre a segurança operacional dos trabalhadores envolvidos. Entretanto, a implementação bem sucedida das diretrizes de EIR depende substancialmente dos conhecimentos técnicos dos profissionais envolvidos na atividade de exploração florestal (PINARD et al., 1995).

### **1.3 Importância da aplicação das técnicas de derruba direcionada de árvores**

A ausência da aplicação de técnicas de derruba adequadas ocasionam desperdícios de madeira devido aos danos ocasionados (NOGUEIRA et al., 2011). Ao direcionar a derruba, árvores jovens com potencial futuro podem ser protegidas, devido à queda ser direcionada para espécies menos interessantes ou direcionadas para áreas de clareiras naturais pré-existent na floresta (JONKERS, 2000).

Entretanto, nem todas as árvores podem ser direcionadas adequadamente (KELLER et al., 2004), pois cada árvore tem um ângulo de queda natural definido e a alteração desse ângulo é limitado. E por mais cuidadosa que a derruba seja realizada, sempre causará impactos à floresta, pois após a queda, a árvore deverá ser extraída do local (CEDERGREN et al., 2002).

Para amenizar esses impactos inevitáveis, várias técnicas podem ser aplicadas (NIKOOY et al., 2013). E por meio de treinamento, a habilidade dos motosserristas aumenta, melhorando assim a segurança e a precisão da derruba (PINARD et al., 1995).

A aplicação da derruba direcionada é difícil de ser executada na floresta tropical, devido a presença de grandes árvores, com copas muito volumosas, cobertas na maioria das vezes, por muitos cipós (HENDRISON, 1990).

Decisões sobre a direção de queda das árvores são baseadas nos critérios de segurança operacional da equipe de derruba, facilidade de arraste, prevenção de danos às árvores selecionadas e proteção aos cursos d'água (PINARD et al., 1995;



DYKSTRA e HEINRICH, 1996; AMARAL et al., 1998; MASON e PUTZ, 2001; SABOGAL et al., 2009; NAGHDI et al., 2016). Mas na maioria dos casos, a derruba direcionada não consegue contemplar a todos os critérios simultaneamente (VAN der HOUT, 1999), o que pode vir a gerar algum tipo de dano a floresta. Porém, a quantidade de danos às árvores remanescentes comerciais é menor, quando comparada ao número de danos gerados pela derruba sem planejamento (JOHNS et al., 1996; PINARD e PUTZ, 1996; NOGUEIRA et al., 2011).

#### **1.4 Direção de queda natural, planejada e efetiva**

Para que o objetivo da derruba direcionada seja alcançado, a direção de queda natural deve ser o primeiro aspecto a ser considerado (AMARAL et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2011), pois nesse momento o operador estima os danos potenciais a serem causados na floresta, tanto pela derruba da árvore, quanto pelo seu posterior arraste (NOGUEIRA et al., 2011).

Entende-se como direção de queda natural, a direção de queda que é determinada pela forma da copa, peso dos galhos, inclinação natural e por outros fatores interferentes (BRAZ e d'OLIVEIRA, 1997; AMARAL et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2011).

O segundo aspecto a ser considerado para minimizar os danos na floresta é direcionar as árvores para áreas abertas, como clareiras naturais, ou em sentido oblíquo às trilhas de arraste, em uma posição que facilite a sua extração (DYKSTRA AND HEINRICH, 1996; VAN der HOUT, 1999; MASON e PUTZ, 2001; HEINRICH e ARZBERGER, 2004; SABOGAL et al., 2009; JOURGHOLAMI et al., 2013; NAGHDI et al., 2016; RIVETT et al., 2016).

Entretanto, direcionar várias árvores para uma mesma clareira é indesejável, devido as clareiras se tornarem muito grandes (VAN der HOUT, 2000), o que pode estimular o aparecimento de lianas e vegetação pioneira, que podem representar uma barreira natural para a recuperação da floresta (PINARD et al., 2000).

Devido a estes critérios de avaliação adotados, a derruba direcionada tornou-se muito aceita, como meio de controlar os danos à vegetação, aproveitar mais madeira das árvores derrubadas e reduzir os riscos de acidentes operacionais (JONKERS e HENDRISON, 2011; NAGHDI et al., 2016).

A direção de queda planejada de árvores em florestas naturais considera uma variação entre 10 - 45 graus em torno da queda natural (NOGUEIRA et al., 2011). Considerando a direção de queda planejada, uma árvore poderá apresentar uma variação de 10 graus (PINARD et al., 1995), mas dependendo do tipo de floresta esse valor pode chegar a 20 (CEDERGREN et al., 2002) ou mais de 30 graus (KRUEGER, 2004; NAGHDI et al., 2016).

O potencial da derruba direcionada depende da habilidade da equipe operacional em definir diretrizes e na habilidade do motosserrista em realizar a derruba da árvore na direção definida (NIKOOY et al., 2013). Neste sentido, é importante averiguar se as árvores foram derrubadas de acordo com o planejamento, e para tal é necessário analisar a diferença entre a direção de queda planejada e a direção de queda efetiva da árvore derrubada (NAGHDI et al., 2016).

Desta forma, a equipe técnica de campo deve ser treinada para auxiliar no planejamento das possíveis direções de queda, pois a avaliação feita apenas pelos motosserristas no momento da derruba pode ser limitada (PINARD et al., 1995).

### **1.5 Técnicas de corte para árvores tropicais**

Para árvores com tronco de boa qualidade e com direção de queda natural favorável, utiliza-se a técnica padrão de corte e em situações especiais, utilizam-se técnicas específicas, destinadas às árvores inclinadas, com madeira propensa a rachaduras ou com presença de grandes raízes tabulares (AMARAL et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2011).

A técnica padrão de derruba é composta pelo corte direcional e pelo corte de abate. O corte direcional é feito a uma altura entre 10-50 cm acima do nível do solo e é constituído por cortes feitos em ângulo (0 grau e 45 graus), os quais alcançam 1/3 do diâmetro do tronco, o que determina a direção de queda da árvore (BRAZ e d'OLIVEIRA, 1997; AMARAL et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2011). O corte de abate é constituído por vários cortes complementares, realizados do lado oposto e acima do corte direcional (AMARAL et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2011), a uma altura de 5 cm a 20 cm acima do corte 0 grau, dependendo das dimensões da árvore (BRAZ e d'OLIVEIRA, 1997).

A equipe de derruba é composta em geral por um ou dois motosserristas e um ajudante, o qual localiza a árvore a ser derrubada, realiza a limpeza ao redor dela e

prepara os caminhos de fuga (AMARAL et al., 1998). A equipe executa os seguintes procedimentos para a derruba de uma árvore (AMARAL et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2011): i) - Checagem da espécie e numeração da árvore a ser derrubada; ii) - Verificação da presença de oco; iii) - Avaliação da queda natural e possível redirecionamento, caso necessário; iv) - Limpeza do fuste da árvore e da zona de operação; v) - Preparação dos caminhos de fuga; e vi) - Retirada de pregos e placas de identificação que estejam inseridos no fuste.

A operação de derruba é considerada a parte mais perigosa das operações de exploração florestal, devido as árvores apresentarem grandes dimensões, podendo estarem interligadas por cipós, com potencial de tracionar as árvores vizinhas no momento de sua queda (HEINRICH e ARZBERGER, 2004). Por esses motivos deve ser dada prioridade à qualificação dos motosserristas e de seus auxiliares, para a boa condução das operações de derruba (DYKSTRA e HEINRICH, 1996).

### **1.6 Treinamento e Capacitação**

Motosserristas treinados são capazes de definir de maneira confiável a direção de queda de uma árvore, o que pode garantir uma redução dos danos na floresta remanescente para futuras explorações (CEDERGREN et al., 2002). Motosserristas qualificados são mais conscientes das consequências de uma derruba bem sucedida para as operações subsequentes na exploração florestal (JONKERS e HENDRISON, 2011). No entanto, deve haver um bom entendimento do que pode-se esperar de uma derruba direcionada, principalmente com relação ao intervalo no qual as árvores podem ser direcionadas, considerando fatores naturais e operacionais (CEDERGREN et al., 2002).

Embora seja quase impossível realizar a derruba direcionada da mesma forma que em florestas temperadas, a adaptação das técnicas para florestas tropicais é possível (HENDRISON, 1990). Além do domínio das técnicas, também é necessário algum conhecimento da mecânica e das propriedades das árvores por parte dos motosserristas (JONKERS, 2000).

Em países em desenvolvimento de regiões tropicais a derruba de árvores é frequentemente realizada por trabalhadores mal equipados e não qualificados, com pouco ou nenhum treinamento, atuando sem orientação ou supervisão (DYKSTRA e HEINRICH, 1996). Devido à essa falta de treinamento adequado, motosserristas de países tropicais não são tão valorizados, quanto nos países de zonas temperadas do

hemisfério ocidental (CONWAY, 1982 apud HENDRISON e de GRAAF, 2011). Geralmente, os motosserristas são trabalhadores com apenas o ensino fundamental, provenientes de famílias pobres, que são remunerados por sua experiência de campo e capacidade de produção (RUMIZ et al., 2001).

A produtividade das operações de derruba em florestas tropicais é difícil de ser estimada, devido a distribuição aleatória das árvores, da variação de seus volumes e pela necessidade da aplicação das técnicas de derruba, que podem interferir na atividade (CASTRO et al., 2016), além de uma infinidade de outros fatores que podem influenciar, sendo muitos destes, difíceis de serem identificados e quantificados (BEHJOU et al., 2009; LORTZ et al., 1997).

Desde a disseminação das práticas de EIR, na década de 1990, poucas pesquisas foram realizadas no sentido de identificar quais são os fatores que mais influenciam na derruba direcionada, bem como a confirmação da viabilidade operacional desta prática nas atividades de manejo de florestas tropicais, frente às dificuldades impostas pela própria floresta, que interfere, reduzindo o campo de visão para uma avaliação adequada no planejamento da derruba, o grande número de árvores, seus irregulares diâmetros, alturas, sobreposições de copas, além das várias características apresentadas pelas diferentes espécies manejadas.

Em contraposição ao número reduzido de pesquisas científicas relacionadas à derruba direcionada, existem vários manuais publicados sobre os procedimentos operacionais. Tais manuais apresentam informações relevantes. Mas a ausência de registros quantitativos e/ou qualitativos sobre os procedimentos impede que análises mais detalhadas possam ser realizadas, dificultando a validação desta prática.

## **2. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO DE TESE**

O presente trabalho de tese está estruturado em dois capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma abordagem descritiva das variáveis na atividade de derruba direcionada de árvores, analisando como os ângulos das direções de queda natural, planejada e efetiva estão distribuídos entre as espécies envolvidas, bem como os tempos de execução das etapas de planejamento, corte e derruba. O segundo capítulo trata da aplicação da Análise de Componentes Principais - PCA, que é uma técnica de análise multivariada exploratória de dados, destinadas a sintetizar as

variáveis e observações envolvidas na derruba direcionada, que estão distribuídas em um espaço multidimensional em apenas duas dimensões, ordenando-as desta forma.

## **2.1 Questões e hipóteses científicas**

No primeiro capítulo tem-se como objetivo responder se na derruba direcionada, a direção de queda pode ser determinada de forma eficiente pelo operador de motosserra. Como hipótese para esta questão é proposto que o operador de motosserra ao direcionar a queda de uma árvore em uma direção diferente da queda natural, obtém menos de 50% (90 graus) de proximidade entre os ângulos de queda natural e queda planejada.

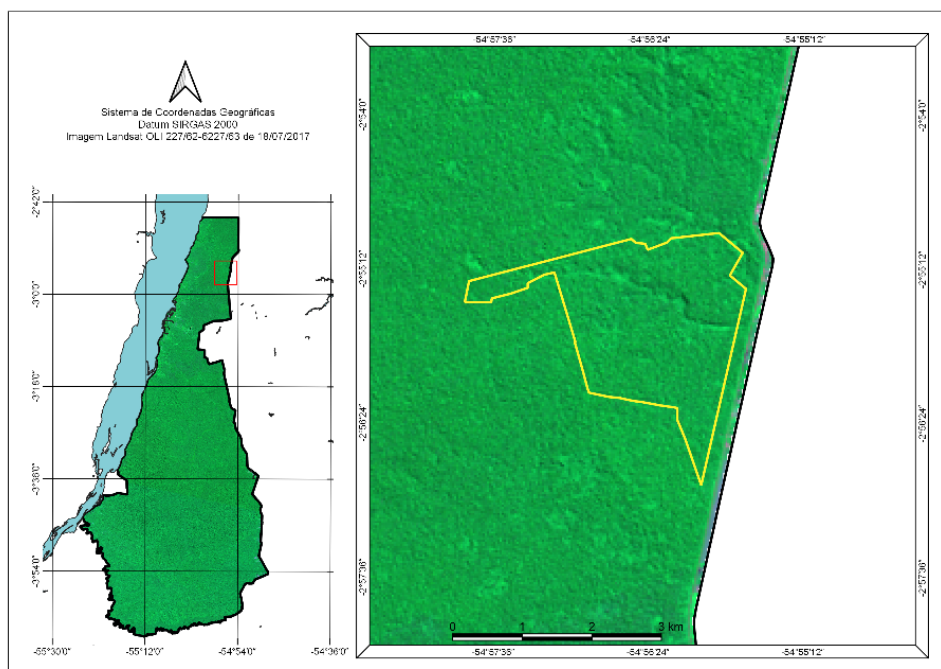
O segundo capítulo é destinado a determinar qual variável ou grupos de variáveis (espécie, densidade básica da madeira, tempo de planejamento, tempo de corte, tempo de derruba, diferença angular entre a direção de queda natural e a direção de queda planejada, diferença angular entre a direção de queda planejada e a direção de queda efetiva, diferença angular entre a direção de queda natural e a direção de queda efetiva, danos, diâmetro a altura do peito, área basal, altura comercial, volume do fuste e volume de galhos) estão mais associadas a derruba direcionada.

A hipótese proposta é que existe mais de uma variável ou grupos de variáveis que influenciam a derruba direcionada de árvores na atividade de exploração florestal.

## **2.2 Aquisição de dados**

### **2.2.1 Local de coleta**

A coleta de dados do presente estudo foi realizada no período de maio a setembro de 2019 em 504,30 hectares de uma área de manejo florestal madeireiro localizada na Floresta Nacional do Tapajós (Figura 1), que é uma Unidade de Conservação Federal, considerada uma das unidades de conservação da região Norte do Brasil que mais desenvolve pesquisa científicas.



**Figura 1.** Mapa da Floresta Nacional do Tapajós e localização da área de coleta de dados. Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.2.2 Aquisição de dados em campo

Foram realizadas três excursões à campo, a primeira em julho de 2018 com a finalidade de testar a metodologia de coleta de dados. Nessa fase foram selecionadas várias pessoas que residiam nas comunidades da Flona Tapajós para serem treinadas na metodologia de coleta de dados. A segunda ida à campo foi em novembro de 2018, com a finalidade de treinar as pessoas selecionadas na metodologia de coleta de dados. A terceira incursão à campo foi no período de maio a setembro de 2019, com o objetivo de realizar um último treinamento na aplicação do formulário de campo (Figura 2) e no uso dos equipamentos e materiais a serem utilizados, para que no mês de junho de 2019, as atividades de pesquisa pudessem ser iniciadas. Em setembro de 2019 a coleta de dados foi finalizada.

**1) IDENTIFICAÇÃO**

Nome do anotador: \_\_\_\_\_ DATA: / / .

Nome do Motosserrista: \_\_\_\_\_ UPA: \_\_\_\_\_ UT: \_\_\_\_\_ QUADRA: \_\_\_\_\_

Espécie confirmada pelo motosserrista: \_\_\_\_\_ Nº da Árvore: \_\_\_\_\_

**Hora e minuto do Início da Operação:** \_\_\_\_\_

---

**2) OCO**

Presença de oco: Não  Sim  1º Teste do oco  2º Teste do oco  Teve cupim ou formiga Não   
Tronco inclinado: Não  Sim  Sim

---

**3) SAPOPEMAS**

 Sem   Baixa (Menor que 0,5m)   Média (Menor que 1m)   Alta (Maior que 1m)

---

**4) COPA**

 Bem distribuída   Puxando mais para um lado   Quebrada   Difícil de ver

---

**5) CIPÓS**

Não  Sim  Na copa  No Tronco  Cortado  Inteiro

---

**6) ÂNGULOS DE QUEDA**

QDA Natural: \_\_\_\_\_ QDA Planejada: \_\_\_\_\_ QDA Efetiva: \_\_\_\_\_ QDA da Copa: \_\_\_\_\_

Árvore inclinada Não  Sim  Terreno inclinado Não  Sim  Presença de vento Não  Sim

---

**7) TEMPO DE DERRUBA**

Hora e minuto do início do corte: \_\_\_\_\_ Hora e minuto da queda da árvore: \_\_\_\_\_

Limpeza da zona de operação Não  Sim  Destopamento Não  Sim

---

**8) TOCO**

Nº de Filetes de Abate: \_\_\_\_\_ Nº de Filetes de Ruptura: \_\_\_\_\_ Fez escadinha: Não  Sim

Utilizou cunhas Não  Sim  Quantas \_\_\_\_\_

---

**9) DANOS**

Caiu encima de outras Não  Sim  Oco na base da tora Não  Sim

Quantas Árvores: \_\_\_\_\_ Rachadura na tora: Não  Sim  Difícil de ver

**Figura 2.** Modelo de formulário utilizado na coleta de dados de derruba direcionada. Fonte: elaborado pelo autor.

### 2.2.3 Banco de dados, processamento e análise de dados

Foram preenchidos 1.436 formulários de campo impressos, onde foram realizadas as anotações das variáveis referentes a atividade de derruba direcionada.

Os formulários de campo foram revisados, organizados, transformados em arquivo de imagem (.jpg), convertidos para arquivo de documento portátil (.pdf), para posterior digitação e organização dos dados em planilha do programa Microsoft Excel. Após a etapa de digitação, os dados foram submetidos à filtragem, com objetivo de excluir os registros inconsistentes. Finalizada esta fase, foram realizadas análises exploratórias no banco de dados, onde um conjunto envolvendo 14 variáveis e 1.075 registros foi devidamente selecionado para a realização das análises estatísticas, necessárias para responder as questões científicas formuladas para o presente trabalho de tese de doutorado.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia. Belém: IMAZON. 1998.
- BRAZ, E. M.; d'OLIVEIRA, M. V. N. Abate de árvores em floresta tropical. Circular Técnica, nº16, Rio Branco, AC. Embrapa-CPAFAC. 1997. 30p.
- BEHJOU, F. K.; MAJNOUNIAN, B.; DVOŘÁK, J.; NAMIRANIAN, M.; SAEED, A.; FEGHHI, J. Productivity and cost of manual felling with a chainsaw in Caspian forests. *Journal of Forest Science*, 55(2): 96-100. 2009.
- BICKNELL, J. E.; STRUEBIG, M. J.; EDWARDS, D. P.; DAVIES, Z. G. Improved timber harvest techniques maintain biodiversity in tropical forests. *Current Biology*, vol. 24, n.23, p.1119 - 1120, 2014.
- BICKNELL, J. E.; STRUEBIG, M. J.; DAVIES, Z. G. Reconciling timber extraction with biodiversity conservation in tropical forests using reduced-impact logging. *Journal of Applied Ecology*, 52 (2). p. 379-388, 2015.
- CASTRO, G.P.; NUTTO, L.; MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. Harvesting Systems. In: Pancel, L.; Köhl, M. (Eds.) *Tropical Forestry Handbook*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2th Edition, 2016, p. 2445 -2485.
- CEDERGREN, J.; FALCK, J.; GARCIA, A.; GOH, F.; HAGNER, M. Feasibility and usefulness of directional in a tropical rain forest. *Journal of Tropical Forest Science*, 14(2):179-190. 2002.
- CORLETT, R. T. Applied Ecology of Tropical Forests. In: Pancel, L.; Köhl, M. (Eds.), *Tropical Forestry Handbook*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2th Edition, 2016, p. 511-518.
- DYKSTRA, D.P.; HEINRICH, R. Sustaining tropical forests through environmentally sound timber harvesting practices. *Unasylva*, 169: 9-15, 1992.
- DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. *FAO model code of forest harvesting practice*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. ISBN 92-5-103690-X. 85p. 1996.
- DYKSTRA, D. P. Reduced impact logging: concepts and issues. In: Enters, T.; Durst, P. B.; Applegate, G. G.; Kho, P. C. S.; Man, G (Eds.) *Applying Reduced Impact Logging to Advance Sustainable Forest Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Thailand (Chapter 2), 2002. <<http://www.fao.org/3/AC805E/ac805e04.htm#bm04>> (accessed setembro 2021).
- EDWARDS, D. P.; GILROY, J. J.; WOODCOCK, P.; EDWARDS, F. A.; LARSEN, T. H.; ANDREWS, D. J. R.; DERHÉ, M. A.; DOCHERTY, T. D. S.; HSU, W. W.; MITCHELL, S. L.; OTA, T.; WILLIAMS, L. J.; LAURANCE, W. F.; HAMER, K. C.; WILCOVE, D. S. Land-sharing versus land-sparing logging: Reconciling timber extraction with biodiversity conservation. *Global Change Biology*, vol. 20, n.1, p.183-191, 2013.
- EDWARDS, D. P.; TOBIAS, J. A.; SHEIL, D.; MEIJAARD, E.; LAURANCE, W. F. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 29, n.9, p. 511- 520, 2014.



ELLIS, P. W.; PUTZ, F. E. Introduction to the special issue: Reduced-impact logging for climate change mitigation (RIL-C). *Forest Ecology and Management*, 439: 171 - 172. 2019.

FORSHEED, O.; UDARBE, T.; KARLSSON, A.; FALCK, J. Initial impact of supervised logging and pre-logging climber cutting compared with conventional logging in a dipterocarp rainforest in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, v. 221: 233-240. 2006.

GHAZOUL, J.; HILL, J. The impacts of selective logging on tropical forest invertebrates. In: Fimbel, R. A.; Grajal, A.; Robinson, J. G. (Eds.) *The cutting edge: conserving wildlife in logged tropical forest*. Columbia University Press, New York, 2001, p. 261 - 288.

HEINRICH, R.; ARZBERGER, U. Forest Operations in the Tropics, Reduced Impact Logging. In: Burley, J.; Evans, J.; Youngquist, J. A. (Eds.) *Encyclopedia of Forest Sciences*. Oxford, UK. Elsevier Academic Press, 2004. p. 247 - 252.

HENDRISON, J. Damage-controlled logging in managed tropical rain forest in Suriname. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University. *Ecology and Management of Tropical Rain Forests in Suriname*, Wageningen, the Netherlands. 204 p. 1990.

HENDRISON, J.; de GRAAF, N.R. History of use and management of forests in Suriname. In: Werger, M. J. A. (Ed.), *Sustainable Management of Tropical Rainforests :The CELOS Management System*. Tropenbos, series 25, Paramaribo, Suriname, 2011, p. 9 - 28.

JOHNS, J.S.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 89, p. 59-77. 1996.

JONKERS, W. B. J. Logging, damage and efficiency: a study on the feasibility of Reduced Impact Logging in Cameroon. Kribi (Cameroon). Final Report. 57 pp. 2000. [online] URL: <http://www.tropenbos.org/file.php/128/tcpreport00-3.pdf>.

JONKERS, W. B. J. Vegetation structure, logging damage and silviculture in a tropical rain forest in Suriname. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University. *Ecology and Management of Tropical Rain Forests in Suriname*, Wageningen, the Netherlands. 172 p. 1987.

JONKERS, W.B.J.; HENDRISON, J. The CELOS Management System: concept, treatments and costs. In: Werger, M. J. A. (Ed.), *Sustainable Management of Tropical Rainforests :The CELOS Management System*. Tropenbos, series 25, Paramaribo, Suriname, 2011, p. 29 - 45.

JOURGHOLAMI, M.; MAJNOUNIAN, B.; ZARGHAM, N. Performance, capability and costs of motor-manual tree felling in Hyrcanian hardwood forest. *Croatian Journal of Forest Engineering*, v.34(2): 283-293. 2013.

KELLER, M.; ASNER, G. P.; SILVA, N.; PALACE, M. Sustainability of Selective Logging of Upland Forests in the Brazilian Amazon: Carbon Budgets and Remote Sensing as Tools for Evaluating Logging Effects. In: Zarin, D. J.; Alavalapati, J. R. R.; Putz, F. E.; Schmink, M. (Eds.) *Working Forests in the Neotropics - Conservation Through Sustainable Management?* New York, Columbia University Press, 2004, p. 41 - 63.

- LORTZ, D.; KLUENDER, R.; McCOY, W.; STOKES, B.; KLEPAC, J. Manual felling productivity In Southern pine forests. *Forest Products Journal*, v. 47(10): 59-63. 1997.
- KRUEGER, W. Effects of future crop tree flagging and skid trail planning on conventional diameter-limit logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, v.188, p. 381-393, 2004.
- MASON, D. J.; PUTZ, F. E. Reducing the impacts of tropical forestry on wildlife. In: Fimbel, R. A.; Grajal, A.; Robinson, J. G. (Eds.) *The cutting edge: conserving wildlife in logged tropical forest*. Columbia University Press, New York, 2001, p. 473 - 509.
- MOSTACEDO, B. Silviculture of Tropical Dry Forests: Bolivian Case Study. In: Günter, S.; Weber, M.; Stimm, B.; Mosandl, R. (Eds.), *Silviculture in the Tropics*, Tropical Forestry 8, Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011, p. 285 -295.
- NAGHDI, R.; NIKOOY, M.; GHAJAR, I.; ERSHADIFAR, M. A practical linear model for estimation of tree falling direction error in mountainous forests of Northern Iran. *Ecopersia*, 4(3):1505-1516. 2016.
- NIKOOY, M.; NAGHDI, R.; ERSHADIFAR, M. Survey of Directional Felling and Analysis of Effective Factors on Felling Error. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. vol. 11, n.2, 177-184. 2013.
- NOGUEIRA, M.M.; VIEIRA, V.; SOUZA, A.; LENTINI, M.W. Manejo de florestas naturais da Amazônia: Corte, traçamento e segurança. Belém: Instituto Floresta Tropical. 2011.
- PINARD, M.A.; PUTZ, F.E.; TAY, J.; SULLIVAN, T.E. Creating Timber Harvest Guidelines for a Reduced-Impact Logging Project in Malaysia. *Journal of Forestry*, v.93(10): 41-45. 1995.
- PINARD, M. A.; PUTZ, F. E. Retaining Forest Biomass By Reducing Logging Damage. *Biotropica*, 28(3): 278-295, 1996.
- PINARD, M. A.; PUTZ, F. E. Monitoring carbon sequestration benefits associated with a reduced-impact logging project in Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 2, p. 203-215, 1997.
- PINARD, M.A.; PUTZ, F.E.; TAY, J. Lessons learned from the implementation of reduced-impact logging in hilly terrain in Sabah, Malaysia. *International Forestry Review* 2(1): 33 - 39, 2000.
- PUTZ, F.E.; PINARD, M.A. Reduced-impact Logging as a carbon-offset method. *Conservation Biology*, v.7(4):755-757. 1993.
- PUTZ, F. E.; ZUIDEMA, P. A.; PINARD, M. A.; BOOT, R. G. A.; SAYER, J. A.; SHEIL, D.; SIST, P.; ELIAS, M.; VANCLAY, J. K. Improved tropical forest management for carbon retention. *PLoS Biol* 6(7): e166. doi:10.1371/journal.pbio.0060166, 2008.
- PUTZ, F. E.; SIST, P.; FREDERICKSEN, T.; DYKSTRA, D. Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 256: 1427-1433, 2008.
- RIVETT, S. L.; BICKNELL, J. E.; DAVIES, Z. G. Effect of reduced-impact logging on seedling recruitment in a neotropical forest. *Forest Ecology and Management*, 367: 71-79. 2016.

RUMIZ, D. I.; SUREDA, D. G.; SOLAR, L. R., e HERRERA, J. C. F. Logging and hunting in Community forests and corporate concessions: Two Contrasting Case Studies in Bolivia. In: Fimbel, R. A.; Grajal, A.; Robinson, J. G. (Eds.) *The cutting edge: conserving wildlife in logged tropical forest*. Columbia University Press, New York, 2001, p. 233 - 357.

SABOGAL, C.; POKORNY, B.; SILVA, J.N.; CARVALHO, J.O.P.; ZWEEDE, J.; PUERTA, R. Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2009.

VAN der HOUT, P. *Reduced Impact Logging in the Tropical Rain Forest of Guyana: Ecological, Economic, and Silvicultural Consequences*, vol. 6. Tropenbos-Guyana Series, Wageningen, The Netherlands. 335 p. 1999.

VAN der HOUT, P. Testing the applicability of reduced impact logging in greenheart forest in Guyana. *The International Forestry Review*, Special Issue: Reduced Impact Logging, v. 2, (1): 24 - 32, 2000.

## ARTIGO 1: INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE QUEDA NATURAL DA ÁRVORE NA DERRUBA DIRECIONADA EM FLORESTA TROPICAL - AMAZÔNIA ORIENTAL

### RESUMO

Desde a disseminação das práticas de Exploração de Impactos Reduzidos (EIR), na década de 1990, poucas pesquisas foram realizadas no sentido de identificar quais são os fatores que mais influenciam na derruba direcionada, bem como a confirmação da viabilidade operacional desta prática nas atividades de manejo de florestas tropicais. Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar os ângulos de direcionamento de queda das árvores na atividade de derruba direcionada de árvores na exploração florestal. A pesquisa foi realizada na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós), município de Belterra, Pará, Amazônia Oriental brasileira, em uma área de 504,30 ha. Para a coleta de dados foram organizadas nove equipes de corte, sendo capacitadas com base nas diretrizes técnicas de EIR. Foram obtidos os tempos de planejamento, corte e derruba de cada árvore derrubada, bem como os seus ângulos de direção de queda natural, queda planejada e queda efetiva. Sendo calculadas as diferenças absolutas entre os ângulos de: i) queda natural (QN) e queda planejada (QP); ii) queda planejada (QP) e efetiva (QE) e; iii) queda natural (QN) e efetiva (QE); de forma a visualizar a variação angular ocorrida entre os procedimentos de derruba direcionada. Foram selecionadas para a exploração 2.102 árvores com DAP (diâmetro à 1,30 m do solo)  $\geq 50$  cm gerando uma intensidade de exploração média de  $28,80 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ . Deste quantitativo foram consideradas 1.075 árvores (51%) pertencentes a 17 espécies para a realização das análises das variáveis e procedimentos associados a derruba direcionada. Com base na variação percentual da diferença angular observada entre as direções de queda (QN, QP, QE), foram verificadas seis condições no ato da derruba realizada pelos motosserristas: QN=QP, QP=QE, QN=QE, QN=QP=QE, QN $\neq$ QP $\neq$ QE, QNP, QPE, QNE em sentidos opostos. No geral, as árvores foram derrubadas com direcionamento de queda predominante para a direção de queda natural ou próximo da direção natural, o que foi evidenciado pela proximidade entre os ângulos de direção de queda natural e planejada (mediana=20 graus), planejada e efetiva (mediana=10 graus) e, natural e efetiva (mediana=27 graus). Mostrando que a atividade de direcionamento de queda de árvores na exploração florestal sofre bastante influência da tendência de queda natural apresentado pela árvore, a qual é influenciada pelas dimensões da copa e do próprio fuste.

Palavras chave: Corte de árvores, direção de queda, exploração florestal, Floresta Nacional do Tapajós, motosserrista, planejamento de derruba.

## INFLUENCE OF TREE NATURAL LEAN ANGLE ON DIRECTIONAL FELLING IN A TROPICAL FOREST - EASTERN AMAZON

### ABSTRACT

Since the dissemination of the practices concerning Reduced Impact Logging (RIL) in the 1990s, little research has been conducted to identify the factors that most influence directional felling. Scarce are, as well, the studies aiming to confirm the operational viability of this practice within tropical forest management activities. The objective of the present research was to analyze the variations in tree felling angles and evaluate the contribution of this practice to forest harvesting. The study was conducted in an area of 504.30 ha within the Tapajós National Forest (FLONA Tapajós), municipality of Belterra, Pará, eastern Brazilian Amazon. For data collection, nine cutting teams were organized and trained in the technical guidelines of RIL. The time used for planning, cutting, and felling each tree, as well as the angles regarding the natural lean and the planned and effective felling directions, were measured. The angular variation between the directional felling procedures was expressed through the absolute differences between the angles of natural lean (QN) and intended felling direction (QP); QP and effective felling direction (QE); and QN and QE. A total of 2102 trees with DBH (diameter at 1.30 m from the ground)  $\geq 50$  cm were selected for logging, generating a mean harvest intensity of  $28.80 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ . From these, 1075 trees (51%) belonging to 17 species were considered to analyze the variables and procedures associated with the directional felling. Based on the percentual variation of the angular difference observed between the felling directions (QN, QP, QE), six conditions were detected when the chainsaw operators were felling the trees:  $QN=QP$ ,  $QP=QE$ ,  $QN=QE$ ,  $QN=QP=QE$ ,  $QN \neq QP \neq QE$ , QNP, QPE, QNE in opposite directions. In general, the directional felling of the trees was predominately towards their natural lean or proximate, as evidenced by the correspondence between QN and QP (median = 20 degrees), QP and QE (median = 10 degrees), and QN and QE (median=27 degrees). These results suggest that, in forest harvesting, the directional felling activity is strongly influenced by tree natural lean, which is affected by the crown and stem dimensions.

**Keywords:** Tree logging, felling direction, forest exploitation, National Forest of the Tapajós, chainsaw, tree felling plan.

## 1. INTRODUÇÃO

Abate, derruba ou corte direcionado ou planejado são sinônimos que designam um conjunto de procedimentos técnicos executados na exploração florestal, onde a queda de uma árvore é planejada cuidadosamente antes mesmo de derrubá-la (MASON e PUTZ, 2001; GHAZOUL e HILL, 2001; CEDERGREN et al., 2002; HEINRICH e ARZBERGER, 2004; FORSHED et al., 2006; JOURGHOLAMI et al., 2013).

A derruba direcionada começou a ganhar destaque com a difusão das diretrizes de exploração de impacto reduzido (EIR) (PUTZ e PINARD, 1993). O objetivo dessas diretrizes era auxiliar na redução dos impactos das emissões de gases do efeito estufa, provenientes da exploração das florestas tropicais (PINARD e PUTZ, 1997; PUTZ et al., 2008a; PUTZ et al., 2008b). A justificativa era que ao reduzir o número de árvores mortas ou danificadas pela exploração florestal mal conduzida, as perdas de biomassa seriam menores, reduzindo consequentemente as emissões de carbono geradas pela decomposição dos resíduos da vegetação, e mantendo a capacidade da floresta em sequestrar carbono (PUTZ e PINARD, 1993; PINARD e PUTZ, 1997).

A derruba direcionada está entre as práticas mais comuns de EIR (VAN der HOUT, 1999; PUTZ et al., 2008a; PUTZ et al., 2008b; MOSTACEDO, 2011) e pode ser considerada como a técnica mais divulgada, tornando-se referência neste conceito.

A ausência da aplicação de técnicas de derruba adequadas ocasionam desperdícios de madeira devido aos danos ocasionados (NOGUEIRA et al., 2011). Ao direcionar a derruba, árvores jovens com potencial futuro podem ser protegidas, devido à queda ser direcionada para espécies menos interessantes ou direcionadas para áreas de clareiras naturais pré-existent na floresta (JONKERS, 2000).

Entretanto, nem todas as árvores podem ser direcionadas adequadamente (KELLER et al., 2004), pois cada árvore tem um ângulo de queda natural definido e a alteração desse ângulo é limitado. E por mais cuidadosa que a derruba seja realizada, sempre causará impactos à floresta, pois após a queda, a árvore deverá ser extraída do local (CEDERGREN et al., 2002).

Decisões sobre a direção de queda das árvores são baseadas nos critérios de segurança operacional da equipe de derruba, facilidade de arraste, prevenção de danos às árvores selecionadas e proteção aos cursos d'água (PINARD et al., 1995;

DYKSTRA e HEINRICH, 1996; AMARAL et al., 1998; MASON e PUTZ, 2001; SABOGAL et al., 2009; NAGHDI et al., 2016).

Para que o objetivo da derruba direcionada seja alcançado, a direção de queda natural deve ser o primeiro aspecto a ser considerado (AMARAL et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2011), pois nesse momento o operador estima os danos potenciais a serem causados na floresta, tanto pela derruba da árvore, quanto pelo seu posterior arraste (NOGUEIRA et al., 2011).

A direção de queda planejada de árvores em florestas naturais considera uma variação entre 10 - 45 graus em torno da queda natural (NOGUEIRA et al., 2011). Considerando a direção de queda planejada, uma árvore poderá apresentar uma variação de 10 graus (PINARD et al., 1995), mas dependendo do tipo de floresta esse valor pode chegar a 20 (CEDERGREN et al., 2002) ou mais de 30 graus (KRUEGER, 2004; NAGHDI et al., 2016).

O potencial da derruba direcionada depende da habilidade da equipe operacional em definir diretrizes e na habilidade do motosserrista em realizar a derruba da árvore na direção definida (NIKOOY et al., 2013). Neste sentido, é importante averiguar se as árvores foram derrubadas de acordo com o planejamento, e para tal é necessário analisar a diferença entre a direção de queda planejada e a direção de queda efetiva da árvore derrubada (NAGHDI et al., 2016).

Motosserristas treinados são capazes de definir de maneira confiável a direção de queda de uma árvore, o que pode garantir uma redução dos danos na floresta remanescente para futuras explorações, porém deve haver um bom entendimento do que se pode esperar de uma derruba direcionada, principalmente com relação ao intervalo no qual as árvores podem ser direcionadas, considerando fatores naturais e operacionais (CEDERGREN et al., 2002).

Desde a disseminação das práticas de EIR, na década de 1990, poucas pesquisas foram realizadas no sentido de identificar quais são os fatores que mais influenciam na derruba direcionada, bem como a confirmação da viabilidade operacional desta prática nas atividades de manejo de florestas tropicais, frente às dificuldades impostas pela própria floresta, que interfere, reduzindo o campo de visão para uma avaliação adequada no planejamento da derruba, o grande número de árvores, seus irregulares diâmetros, alturas, sobreposições de copas, além das várias características apresentadas pelas diferentes espécies manejadas.

O presente estudo pretende responder a seguinte questão: na atividade de derruba direcionada, a direção de queda de uma árvore pode ser controlada de forma eficiente pelo operador de motosserra? Como hipótese, é proposto que o operador de motosserra ao direcionar a queda de uma árvore em uma direção diferente da queda natural, obtém um acerto inferior a 50%. E se o operador de motosserra direcionar a árvore para a direção de queda natural, o percentual de acerto é superior a 50%.

Neste sentido o objetivo da pesquisa foi analisar os ângulos de direção de queda natural (QN), queda planejada (QP) e queda efetiva (QE) na atividade de derruba direcionada de árvores na atividade de exploração florestal em uma área de manejo na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra - Pará, Amazônia Oriental.

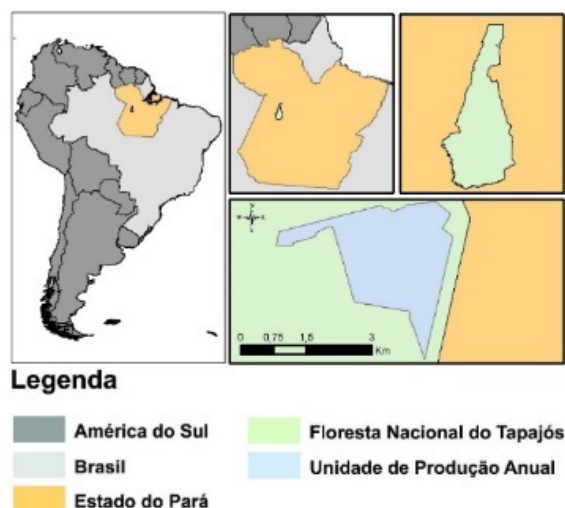
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Características gerais da área de pesquisa**

A área de pesquisa localiza-se na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós), município de Belterra, Pará, entre as coordenadas 2° 40' - 4° 10' de Latitude Sul e 54° 45' - 55° 30' de Longitude Oeste (Fig. 1). Inserida na mesoregião do baixo Amazonas, apresenta no lado Oeste, solos do tipo Neossolos Quartzarênicos e no planalto, Latossolos Amarelos (PARROTA et al. 1995), sob florestas do tipo ombrófila densa (IBGE, 2012), as quais compreendem aproximadamente um terço da área total da Floresta Nacional do Tapajós (PARROTA et al. 1995).

A extensão territorial da Flona do Tapajós é de aproximadamente 530.000 hectares (ANDRADE *et al.* 2019), abrangendo os municípios de Aveiro, Belterra, Placas e Rurópolis. O clima regional é classificado como do tipo Am, equatorial de monção (KOTTEK et al. 2006).





**Fig. 1.** Localização da área de estudo da FLONA do Tapajós, Belterra, Pará, Brasil: detalhes da UPA 13 (504,30 ha) da Área de Manejo Florestal, Samambaia. Fonte: elaborado pelo autor.

## 2.2 Coleta de dados

### 2.2.1 Local e período de coleta

Em área de 504,30 ha da UPA-13 (AMF - Samambaia) foram selecionadas 2.102 árvores com DAP (diâmetro à 1,30 m do solo)  $\geq 50$  cm gerando uma intensidade de exploração média de  $28,80 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ . Deste quantitativo, 1.075 árvores (51%) foram avaliadas as variáveis e procedimentos associados a derruba direcionada.

A atividade de coleta de dados foi realizada no período de atividades de exploração florestal, entre os meses de junho a setembro de 2019. O acesso à área é realizado pelo km 72 da BR 163 (Santarém/Cuiabá), na margem esquerda do sentido norte/sul.

### 2.2.2 Obtenção de dados

Por meio das planilhas do inventário florestal censitário pré-exploratório contidos no Plano Operacional Anual nº 13 - safra 2018 (COOMFLONA, 2018), foram obtidos os nomes vernacular e científico da árvore, circunferência à altura do peito (CAP), altura comercial e calculadas a área transversal, volume do fuste e volume de galhos, descritos a seguir:

A CAP foi mensurada em centímetros, admitindo-se a altura de 1,30 m com relação ao nível do solo. Posteriormente, os valores foram convertidos para diâmetro em unidade centimétrica. A variável altura foi estimada considerando até o limite da primeira bifurcação da árvore, que consistiu na altura comercial.

A área transversal para cada árvore foi calculada utilizando a fórmula  $g = \pi * DAP^2 / 40.000$ , para posterior somatório dos valores por espécie, adquirindo-se desta maneira os valores de dominância ou área basal. Os volumes dos fustes e das partes aéreas das árvores foram estimados por meio de equações específicas para a área de manejo (COOMFLONA, 2018):

$$(i) \quad Vc|c = exp, e$$

$$(ii) \quad Vrb|c = 0,211045768114405 + (0,000630439578435079 * DAP^2) + (-0,00000805819101964133 * DAP^2 * Hc) + (-0,0000204270359331579 * DAP * Hc^2) + (0,00030907024548338 * Hc)$$

onde:  $Vc|c$  = volume com casca em metros cúbicos;  $Vrb|c$  = volume de resíduo bruto com casca em metros cúbicos;  $DAP$  = diâmetro a altura do peito medido em centímetros; e  $Hc$  = altura comercial em metros.

Nove equipes de corte, compostas por um operador de motosserra e um ajudante, cada, aplicaram as técnicas de derruba direcionada. A maioria das árvores ocadas foram descartadas da derruba após o motosserrista aplicar o teste de oco (feita por meio da inserção longitudinal do sabre da motosserra no fuste da árvore). As árvores ocas foram excepcionalmente exploradas quando a relação do oco em termos de produção de volume comercial fosse compensatória, aliado a avaliação do motosserrista, considerando a possibilidade da aplicação adequada das técnicas de corte.

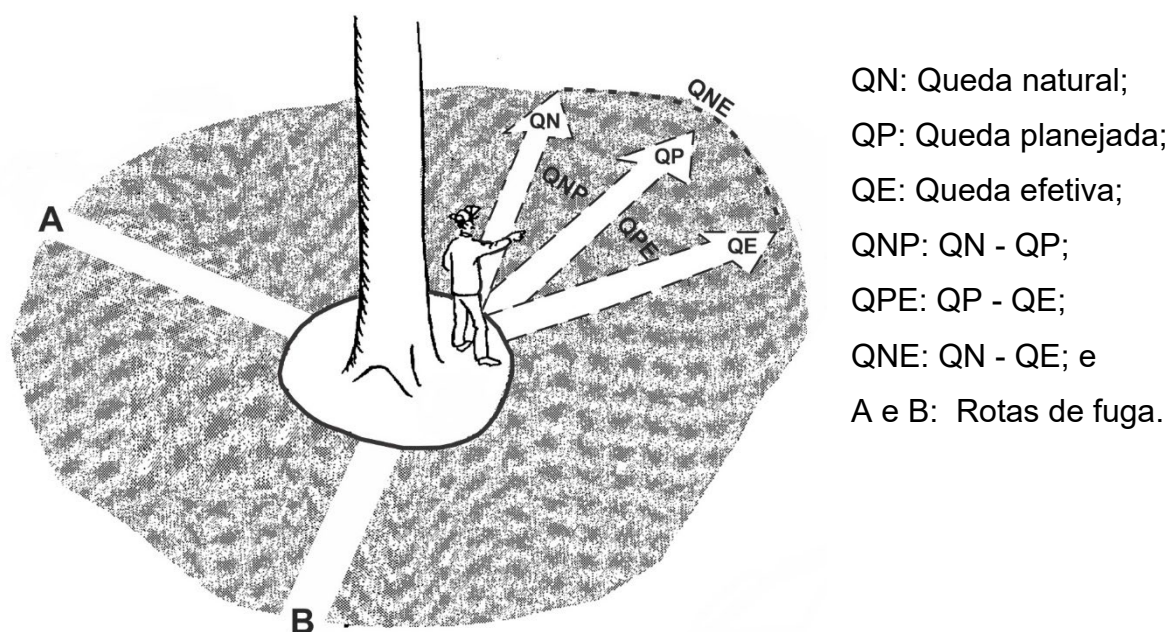
As equipes de corte foram capacitadas nas diretrizes técnicas de EIR (DYKSTRA e HEINRICH, 1996; BRAZ e d'OLIVEIRA, 1997; PEREIRA JÚNIOR, 2003; SABAGOAL et al., 2009; NOGUEIRA et al., 2011), citadas em diversos trabalhos científicos.

A direção de queda natural e a direção de queda planejada foram definidas em campo, por meio da avaliação do operador de motosserra responsável pela atividade de derruba direcionada. Após a derruba da árvore, a direção de queda efetiva foi definida pelo posicionamento do fuste da árvore no chão da floresta. Os ângulos de queda natural, planejada e efetiva, foram determinados considerando como referências a direção do norte magnético e a direção das projeções do fuste da árvore (Fig. 2), da seguinte maneira:

- Direção de queda natural (QN), considerando a sua inclinação e a distribuição dos galhos da copa. O registro da variável de localização em graus consistiu entre o norte magnético e a projeção da queda da árvore;

- Direção de queda planejada (QP) consistiu no registrado o ângulo em graus entre o norte magnético e a projeção planejada da queda da árvore. No planejamento é considerado a direção de queda natural e a distribuição das árvores vizinhas, de maneira a evitar danos em árvores remanescentes e acidentes operacionais na equipe de derruba, sendo planejado a alteração da direção da queda natural; e

- Direção de queda efetiva (QE) consistiu no registro do ângulo em graus entre o norte magnético e a projeção final do fuste da árvore, caída no chão da floresta.



Adaptado de Been et al., (1980).

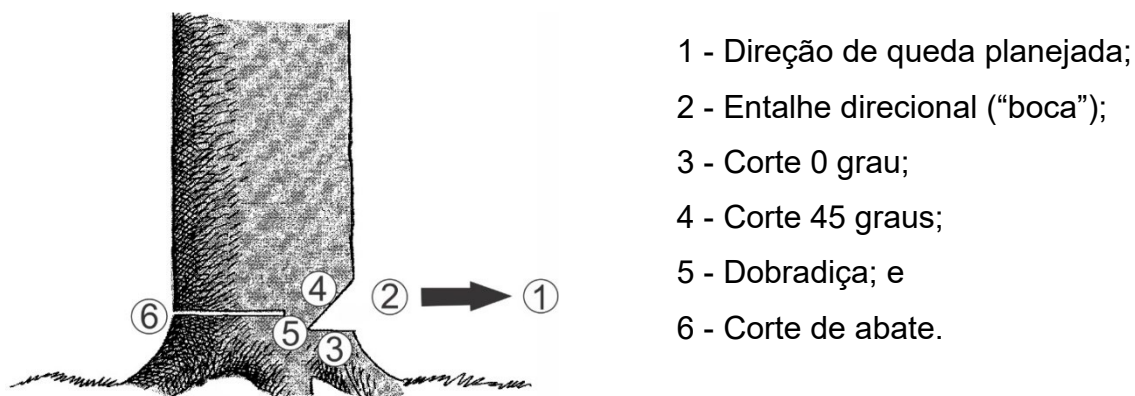
**Fig. 2.** Método de planejamento de derruba direcionada.

O corte aplicado nas árvores seguiu em geral os seguintes procedimentos:

- Aplicação do corte 0 grau, que consiste em um corte transversal abrangendo 1/3 do diâmetro do fuste da árvore, a uma altura máxima de 40 cm do solo, seguido do corte de 45 graus. A junção do corte 0 grau com o corte 45 graus formam o entalhe direcionada. No lado oposto deste entalhe, a uma altura entre 8 cm e 15 cm acima do corte 0 grau, é realizado o corte de abate nos 2/3 restantes da secção transversal do fuste. Na execução do corte de abate, são deixados vários filetes de madeira para a

sustentação, os quais, após serem cortados, finalizam o procedimento de direcionamento de queda da árvore para o local desejado (Fig. 3).

Os motosserristas utilizaram-se de cunhas de metal para auxiliar no direcionamento de queda da árvore, quando necessário. A atividade de derruba considerou que todos os cipós que pudessem restringir a queda das árvores haviam sido cortados, procedimento realizado um ano antes da derruba.



Adaptado de Been et al., (1980).

**Fig. 3.** Método padrão de corte direcional.

Foram obtidos os tempos de planejamento, corte e derruba de cada árvore derrubada, bem como os seus ângulos de direção de queda natural, queda planejada e queda efetiva, da seguinte maneira:

- Tempo de planejamento: abrangeu a realização de todas as atividades que antecederam ao início do corte da árvore: avaliação da direção da queda planejada, limpeza da base do fuste, retirada da casca para algumas espécies, cupinzeiro, vegetação arbustivas, cipós e preparo das picadas de fuga, abastecimento da motosserra (óleo lubrificante e gasolina) e quando necessário, ajustes na motosserra, sabre e corrente. O tempo de planejamento foi expresso em minutos;

- Tempo de corte: abrangeu o início da aplicação do corte da árvore até o momento de sua queda; expresso em minutos; e

- Tempo de derruba: considerou o somatório do tempo de planejamento e do tempo de corte, expresso em minutos.

Os períodos de tempo registrados consideraram todos os eventos ocorridos, incluindo pausas para observações, ajustes de equipamentos, utilização de ferramentas, hidratação e eventuais descansos.

Imediatamente após a derruba, foi coletado o número de árvores danificadas com DAP (diâmetro à altura de 1,30 m do solo)  $\geq 10$  cm que foram diretamente danificadas pela derruba direcionada. Foi efetivo coletar.

A densidade da madeira das espécies analisadas foi determinada de acordo com o descrito por Carneiro et al. (2020).

### **2.3 Métodos de análise estatística**

Foi aplicado o teste de normalidade dos dados através do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha = 0,05$ ) e para a realização das análises, foram utilizados os valores de média, mediana, quartis, assimetria e curtose das variáveis isoladamente ou por espécie, por meio de tabelas, gráficos de barra e diagramas de caixa.

Foram calculadas as diferenças absolutas entre os ângulos de: i) queda natural (QN) e planejada (QP); ii) queda planejada (QP) e efetiva (QE) e; iii) queda natural (QN) e queda efetiva (QE); de forma a visualizar a variação angular ocorrida entre os procedimentos de derruba direcionada. Valores de diferenças próximos a 0 graus indicam maiores acertos e valores próximos de 180 graus indicam maiores erros no direcionamento de queda de uma árvore.

Para facilitar a interpretação, os valores foram convertidos em escala percentual, onde uma diferença de 180 graus representa 0% de acerto e uma diferença de 0 grau representa 100% de acerto. De maneira que quanto maior for o percentual de diferença angular observada entre as direções de queda natural e queda planejada (QNP%); queda planejada e queda efetiva (QPE% e queda natural e queda efetiva (QNE%), menor será a diferença entre as direções de queda consideradas na derruba direcionada.

A variação angular foi avaliada por meio dos percentuais de sobreposição entre os ângulos de queda, assumindo a premissa de que a avaliação do direcionamento de queda foi feita adequadamente pelo motosserrista, embora possa haver possibilidade erros.

Para a realização das análises estatísticas foram utilizados o programa estatístico R versão 4.0.4. (R CoreTeam, 2021) e RStudio versão 1.3.1093 como interface de desenvolvimento.

### 3. RESULTADOS

O universo amostral para as análises da derruba direcionada foi de 1.075 árvores representadas por 17 espécies (Tabela 1).

**Tabela 1**

Estatística descritiva das variáveis por espécie, envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Código Espécie	n. arv.	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Planejamento (min)	Corte (min)	Derruba (min)	QNP (%)	QPE (%)	QNE (%)	Danos (n°ind.)	DAP (cm)	Altura (m)	VolArv. (m <sup>3</sup> )	Basal (m <sup>2</sup> )	VolGal (m <sup>3</sup> )
AngePedra	11	0,59	8,09	8,00	16,09	83,03	92,72	89,44	2,64	102,58	22,64	10,27	0,86	6,00
CedroRa	26	0,49	7,69	7,77	15,46	79,72	85,86	84,17	2,00	99,82	23,31	10,81	0,87	5,99
Cuia	15	0,80	10,27	8,80	19,07	87,33	85,05	80,67	2,13	83,65	21,73	6,50	0,56	3,89
Cuma	49	0,91	5,96	8,86	14,82	88,06	85,42	83,62	1,92	77,52	17,37	4,94	0,49	3,67
Cupiu	15	0,71	7,33	4,73	12,07	83,19	74,27	68,59	1,93	75,97	12,33	3,60	0,46	3,64
FavaTimb	45	0,69	8,09	7,69	15,78	85,72	85,80	80,32	2,14	76,37	16,71	4,61	0,47	3,54
Garap	16	0,75	10,25	8,69	18,94	93,54	87,50	85,83	1,38	86,14	18,50	6,20	0,60	4,42
Itau	69	0,70	6,17	7,17	13,35	85,10	83,95	79,86	1,53	80,93	23,67	6,82	0,53	3,53
Jara	119	0,85	6,26	6,71	12,97	82,99	85,07	78,73	1,51	71,30	19,18	4,48	0,41	2,93
Jato	105	0,76	7,03	9,46	16,49	82,97	86,41	82,39	1,82	90,75	28,71	9,91	0,68	4,08
JutaiMi	65	0,90	6,22	6,97	13,18	84,37	87,56	84,60	1,91	75,65	22,60	5,60	0,46	3,09
MacaRan	167	0,87	7,06	6,75	13,81	81,78	82,84	77,65	1,84	71,30	19,63	4,60	0,41	2,93
ManRosa	11	0,54	8,36	6,36	14,73	90,40	86,97	91,01	1,91	80,04	19,64	5,61	0,51	3,67
Muira	47	0,79	6,91	8,23	15,15	84,82	84,10	80,33	2,04	82,30	29,02	8,17	0,55	3,18
Quaru	61	0,48	7,38	8,16	15,54	82,81	86,41	79,35	2,68	101,43	19,66	9,14	0,86	6,25
Sapu	33	0,84	7,61	7,55	15,15	79,11	84,30	77,02	2,24	81,13	17,73	5,57	0,54	3,99
Taua	221	0,52	6,90	7,70	14,60	81,73	84,63	76,51	1,86	78,38	24,89	6,69	0,50	3,23
Média	63,23	0,72	6,98	7,61	14,59	83,27	84,92	79,59	1,88	80,08	22,15	6,45	0,53	3,60
Total	1075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

AngePedra: angelim pedra (*Hymenobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cuia: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumaru (*Dipteryx odorata*), Cupiu: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itau: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaiMi: jutai mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRan: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecoitei*), Quaru: Quaruba (*Erisma uncinatum*), Sapu: sapucaia (*Lecythis pisonis*), Taua: tauari (*Couratari guianensis*), n.arv.: Número de árvores, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba (min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em porcentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, Danos (n°ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal(m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

Todas as variáveis analisadas apresentaram valores de assimetria e curtose diferentes de zero, indicando falta de normalidade nas distribuições (Tabela 2). O padrão da distribuição dos dados foi confirmado através do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha = 0,01$ ), o qual rejeitou hipótese de normalidade.

**Tabela 2**

Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Variáveis	N	Média	Mínimo	1°Quartil	Mediana	3°Quartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Db (g/cm <sup>3</sup> )	1075	0,72	0,48	0,52	0,76	0,87	0,91	0,43	-0,43	-1,41
Planejamento (min)	1075	6,98	2,00	3,00	6,00	9,00	27,00	25,00	1,29	1,53
Corte (min)	1075	7,61	3,00	5,00	6,00	9,00	25,00	22,00	1,55	2,37
Derruba (min)	1075	14,60	5,00	9,00	13,00	18,00	40,00	35,00	0,95	0,57
QNP (%)	1059	83,27	0,00	76,11	88,89	100,00	100,00	100,00	-1,80	3,60
QPE (%)	996	84,92	0,00	80,56	91,67	96,67	100,00	100,00	-2,18	5,04
QNE (%)	1059	79,59	0,00	73,89	85,00	94,44	100,00	100,00	-1,77	3,15
Danos (n°de ind.)	1063	1,89	0,00	0,00	2,00	3,00	9,00	9,00	0,69	0,35
DAP (cm)	1075	80,08	50,61	66,85	76,08	89,13	197,35	146,74	1,35	3,06
Altura (m)	1075	22,15	7,00	19,00	23,00	26,00	36,00	29,00	-0,31	-0,50
VolArv (m <sup>3</sup> )	1075	6,45	1,35	4,04	5,44	7,92	30,14	28,79	1,81	4,97

Continua

Cont. Tabela 2

Variáveis	N	Média	Mínimo	1ºQuartil	Mediana	3ºQuartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Basal (m <sup>2</sup> )	1075	0,53	0,20	0,35	0,45	0,62	3,06	2,86	2,53	12,17
VolGal (m <sup>3</sup> )	1075	3,60	1,05	2,33	3,07	4,27	23,61	22,56	2,88	16,38

Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em percentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Danos (n°ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal(m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

As espécies quaruba (Quaru: *Erismia uncinatum*) e cumaru (Cuma: *Dipteryx odorata*) apresentaram o menor (0,48 g/cm<sup>3</sup>) e o maior (0,91 g/cm<sup>3</sup>) valor para a densidade da madeira, respetivamente (Tabela 1). A média de densidade entre as espécies foi de 0,72 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 2). Três quartos das árvores apresentaram valores para altura comercial de até 26 m (Tabela 2) sendo que a espécie mais alta foi muiracatiara (Muir: *Astronium lecointei*), com média de 29,02 m de altura comercial entre as espécies (Tabela 1). No geral, metade do quantitativo de árvores apresentou volumes de fuste e galhos no valor de 5,44 m<sup>3</sup> e 3,07 m<sup>3</sup>, respectivamente (Tabela 2).

As espécies que apresentaram os maiores valores médios de volume de fuste foram angelim pedra (10,27 m<sup>3</sup>), cedrorana (CedroRa: *Vochysia maxima*) (10,81 m<sup>3</sup>) e jatobá (9,91 m<sup>3</sup>), enquanto que para o volume de galhos, os maiores valores médios foram de angelim pedra (AngePedra: *Hymenolobium petraeum*) (6 m<sup>3</sup>), cedrorana (CedroRa: *Vochysia maxima*) (6 m<sup>3</sup>) e quaruba (Quaru: *Erismia uncinatum*) (6,25 m<sup>3</sup>).

A média de diâmetro e área basal entre as espécies foi de 0,53 m<sup>2</sup> e 80,08 cm, respectivamente (Tabela 2), onde as espécies angelim pedra (102,58 cm; 0,86 m<sup>2</sup>), cedrorana (99,82 cm; 0,87 m<sup>2</sup>) e quaruba (101,43; 0,86 m<sup>2</sup>) apresentaram os maiores valores (Tabela 1).

Metade das árvores derrubadas danificaram até duas árvores. Os tempos mínimos e máximos para execução do planejamento, corte e derruba das árvores foram de dois, três e cinco minutos e 27, 25 e 40 minutos, respectivamente, com medianas de seis minutos para planejamento e corte, e 13 minutos para o tempo de derruba (Tabela 2).

A espécie cupiúba (Cupiu: *Goupia glabra*) foi a espécie que apresentou a menor média (12,02 minutos) de tempo de derruba, enquanto a maior média (19,02 minutos) de derruba foi apresentada por cuiarana (Cuia: *Terminalia amazonia*) (Tabela 1).

A avaliação do QNP% considerou 98,51% das árvores do presente estudo e apresentou uma amplitude interquartílica de 23,89% (136 graus) e mediana de 88,89% (20 graus) (Tabela 2). Enquanto que o QPE% foi avaliado em 92,65% das árvores, apresentando uma amplitude interquartílica de 16,11% (151 graus) e uma mediana de 91,67% (15 graus). A variação do QNE% foi avaliada em 98,51% das árvores, onde o conjunto de dados apresentou uma amplitude interquartílica de 20,55% (143 graus) com mediana 85% (27 graus).

Com base na variação percentual angular observada entre as direções de queda (QN, QP, QE), foram observadas seis condições no ato da derruba realizada pelos motosserristas, descritas a seguir:

i) QN=QP - Direção de queda natural igual e no mesmo sentido da direção de queda planejada:

Essa situação ocorre quando a direção de queda natural apresenta poucos riscos de ocasionar danos às árvores remanescentes vizinhas. A concentração de galhos predominante em um dos lados da copa, a inclinação muito acentuada da árvore, ou ambas situações ocorrendo simultaneamente, faz com que a direção de queda natural se converta na melhor opção de direcionamento de derruba de uma árvore.

**Tabela 3**

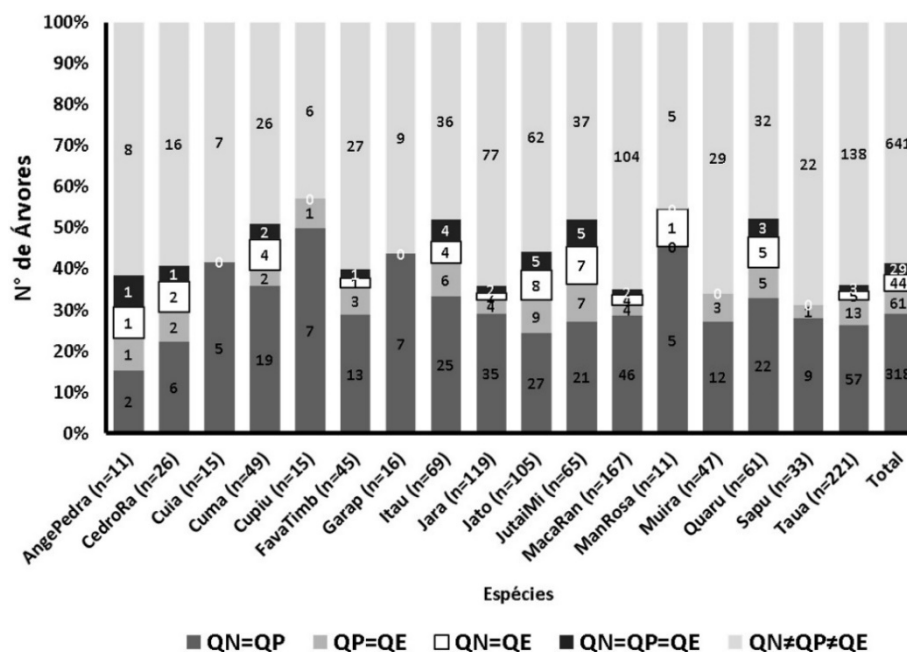
Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando QN=QP, na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Variáveis	n	Média	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Db (g/cm <sup>3</sup> )	318	0,73	0,48	0,52	0,76	0,87	0,91	0,43	-0,46	-1,34
Planejamento (min)	318	7,56	2,00	4,00	6,00	10,00	27,00	25,00	1,24	1,33
Corte (min)	318	7,45	3,00	5,00	6,00	9,00	25,00	22,00	1,68	2,63
Derruba (min)	318	15,02	5,00	10,00	14,00	19,00	40,00	35,00	0,86	0,41
QNP (%)	318	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	-	-
QPE (%)	307	88,03	2,78	83,89	92,78	97,22	100,00	97,22	-2,72	9,14
QNE (%)	318	86,60	2,78	83,33	92,22	97,22	100,00	97,22	-2,59	7,38
Danos (nº de ind.)	312	1,70	0,00	0,00	2,00	3,00	8,00	8,00	0,77	0,70
DAP (cm)	318	78,34	52,20	65,97	74,33	88,17	152,79	100,59	1,04	0,98
Altura (m)	318	21,43	7,00	18,00	21,00	25,00	35,00	28,00	-0,10	-0,54
VolArv (m <sup>3</sup> )	318	6,02	1,42	3,84	5,07	7,25	22,68	21,27	1,65	3,40
Basal (m <sup>2</sup> )	318	0,51	0,21	0,34	0,43	0,61	1,83	1,62	1,66	3,76
VolGal (m <sup>3</sup> )	318	3,47	1,05	2,32	2,92	4,18	12,99	11,94	1,69	4,14

QN: Direção de queda natural expressa em graus, QP: Direção de queda planejada expressa em graus, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em percentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Danos (nº ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal(m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.



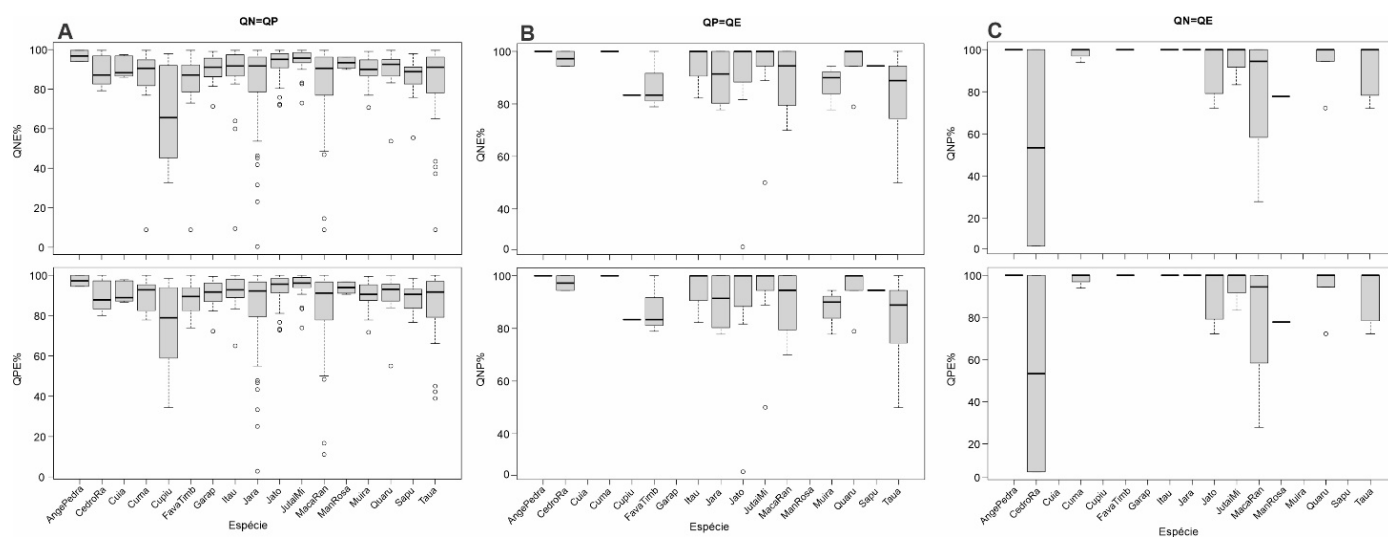
Do total de 1.075 árvores monitoradas quanto ao direcionamento da queda, praticamente um terço destas das árvores (318) foram planejadas para a direção de queda natural (Tabela 3 e Fig. 4).



**Fig.4.** Percentual de árvores e seus direcionamentos de queda na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

AngePedra: angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cuia: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumaru (*Dipteryx odorata*), Cupiu: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudoptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itau: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaiMi: jutaí mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRan: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecointeii*), Quaru: quaruba (*Erisma uncinatum*), Sapu: Sapucaia (*Lecythis pisonis*), Taua: tauari (*Couratari guianensis*).

Desse conjunto de árvores a proximidade entre a direção de queda planejada e a direção de queda efetiva (QPE%) foi de 92% conforme a mediana. Contudo um quarto desse universo (primeiro quartil) apresentou proximidade 9% inferior (83%). O terceiro quartil, que representa 25% dos valores observados acima da mediana, a proximidade foi de 97% (Tabela 3). No geral, 75% das árvores apresentaram tempos de planejamento e corte inferiores ou iguais a 10 e 9 minutos, respectivamente. Enquanto o tempo de derruba para essas árvores foi de até 19 minutos. Considerando que a direção de queda planejada é apenas uma intenção do motosserrista, ela só pode ser confirmada após a queda efetiva da árvore. Caso haja 100% de acerto (êxito total) no planejamento para a direção da queda natural, então a direção de queda natural se converterá na direção de queda efetiva, onde QN=QP=QE.



**Fig.5.** Direcionamentos de queda quando QN=QP (A); QP=QE (B); e QN=QE (C) na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

QN: Queda Natural, QP: Queda Planejada, QE: Queda Efetiva, AngePedra: angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cui: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumaru (*Dipteryx odorata*), Cupiu: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itau: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaiMi: jutai mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRan: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecointeri*), Quaru: quaruba (*Erismia uncinatum*), Sapu: sapucaia (*Lecythis pisonis*), Tava: tauari (*Couratari guianensis*).

As espécies tauari (Tava: *Couratari guianensis*), maçaranduba (MacaRan: *Manilkara elata*), jarana (Jara: *Lecythis lurida*) e jatobá (Jato: *Hymenaea courbaril*) apresentaram juntas 165 (51,88%) árvores planejadas para a direção de queda natural (Fig.4). Contudo Cupiuba (Cupiu: *Goupia glabra*) foi a espécie que apresentou a maior variação angular entre a direção de queda planejada e direção de queda efetiva (QPE%), com o menor valor de mediana nessa categoria (<80%) (Fig.5A). Demonstrando que estas árvores apresentaram algum tipo de dificuldade para serem derrubadas, em comparação com as demais do mesmo grupo.

ii) QP=QE - Direção de queda planejada igual e no mesmo sentido da direção de queda efetiva:

Quando a árvore consegue ser derrubada exatamente na direção a qual foi planejada para cair. Esta categoria pode ser considerada como o melhor resultado de uma derruba direcionada, independente do planejamento de queda ter escolhido o sentido da direção de queda natural.

O sucesso total da direção da queda conforme planejamento ocorreu somente para 5,7% (61) do universo amostral das árvores de derruba avaliadas (Tabela 4). Ressalta-se que praticamente todas as árvores foram planejadas conforme a direção

de queda natural (mediana de 94,4%, sendo com uma dispersão muito pequena Q1=83,3% e Q3=100%).

As árvores que obtiveram 100% de conformidade com a direção de queda planejada apresentaram em média tempos de planejamento, corte e derruba de 7,1; 7,7; 14,8, minutos respectivamente (Tabela 4).

**Tabela 4**

Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando QP=QE na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Variáveis	n	Média	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Db (g/cm <sup>3</sup> )	61	0,70	0,48	0,52	0,71	0,85	0,91	0,43	-0,17	-1,50
Planejamento (min)	61	7,08	2,00	3,00	6,00	11,00	27,00	25,00	1,32	2,98
Corte (min)	61	7,70	3,00	5,00	6,00	9,00	18,00	15,00	1,03	0,02
Derruba (min)	61	14,79	5,00	9,00	14,00	18,00	36,00	31,00	0,75	0,45
QNP (%)	61	89,85	25,56	83,33	94,44	100,00	100,00	74,44	-2,10	5,38
QPE (%)	61	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	-	-
QNE (%)	61	89,85	25,56	83,33	94,44	100,00	100,00	74,44	-2,10	5,38
Danos (n° de ind.)	61	2,33	0,00	2,00	2,00	3,00	9,00	9,00	1,04	3,84
DAP (cm)	61	84,79	57,30	69,07	79,58	97,40	159,15	101,86	1,04	1,23
Altura (m)	61	22,97	10,00	20,00	23,00	27,00	34,00	24,00	-0,40	-0,53
VolArv (m <sup>3</sup> )	61	7,42	2,37	4,27	6,20	8,98	25,29	22,92	1,52	3,35
Basal (m <sup>2</sup> )	61	0,60	0,26	0,37	0,50	0,75	1,99	1,73	1,82	4,95
VolGal (m <sup>3</sup> )	61	4,01	1,50	2,49	3,33	5,01	13,99	12,49	1,94	5,45

QP: Direção de queda planejada expressa em graus, QE: Direção de queda efetiva expressa em graus, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em porcentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, Danos (n° ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv. (m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal (m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

As espécies tauari (Taua: *Couratari guianensis*), jatobá (Jato: *Hymenaea courbaril*), jutaí mirim (JutaiMi: *Hymenaea parvifolia*), itaúba (Itau: *Mezilaurus itauba*) apresentaram 35 (57,38%) árvores com ângulos iguais entre a direção de queda planejada e direção de queda efetiva. Entretanto, as espécies cuiarana (Cuia: *Terminalia amazonia*), garapeira (Garap: *Apuleia leiocarpa*) e mandioqueira rosa (ManRosa: *Qualea dinizii*) (Fig.4 e Fig. 5B) não apresentaram nenhuma árvore com direcionamento de queda planejado adjacente com o efetivo.

A espécie tauari apresentou um valor de mediana próxima a 90%, com valores mínimos próximos a 50%, demonstrando um maior distanciamento com a direção de queda planejada comparado às demais espécies (Fig. 5B).

iii) QN=QE - Direção de queda natural igual e no mesmo sentido da direção de queda efetiva:

Nesse caso a árvore assume efetivamente a direção de queda natural, independente do planejamento de queda ter sido feito para o sentido de queda natural. A concentração de galhos, inclinação do fuste, bem como as dimensões da árvore, constituem fatores que podem alterar o direcionamento de queda planejado.

**Tabela 5**

Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando QN=QE na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Variáveis	n	Média	Mínimo	1°Quartil	Mediana	3°Quartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Db (g/cm <sup>3</sup> )	44	0,72	0,48	0,52	0,76	0,88	0,91	0,43	-0,33	-1,50
Planejamento (min)	44	6,36	2,00	3,00	5,00	10,00	27,00	25,00	2,01	6,22
Corte (min)	44	7,98	3,00	5,00	6,50	9,25	19,00	16,00	1,17	0,37
Derruba (min)	44	14,34	5,00	9,00	14,00	17,25	36,00	31,00	1,11	0,92
QNP (%)	44	91,12	6,67	87,50	100,00	100,00	100,00	93,33	-2,91	9,06
QPE (%)	43	90,92	6,67	86,11	100,00	100,00	100,00	93,33	-2,87	8,77
QNE (%)	44	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	-	-
Danos (n°de ind.)	44	2,27	0,00	2,00	2,00	3,00	6,00	6,00	0,13	-0,31
DAP (cm)	44	84,82	51,88	69,31	79,58	97,88	136,87	84,99	0,65	-0,45
Altura (m)	44	22,86	10,00	20,00	23,00	27,25	32,00	22,00	-0,50	-0,39
VolArv (m <sup>3</sup> )	44	7,34	2,48	4,33	6,05	9,15	17,84	15,36	0,92	-0,15
Basal (m <sup>2</sup> )	44	0,59	0,21	0,38	0,50	0,75	1,47	1,26	1,04	0,45
VolGal (m <sup>3</sup> )	44	4,01	1,49	2,57	3,30	5,05	10,42	8,93	1,23	1,06

QP: Direção de queda natural expressa em graus, QE: Direção de queda efetiva expressa em graus, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP (%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em percentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Danos (n°ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv. (m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal (m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

Das 44 (4,1%) árvores que caíram para o sentido da queda natural, mais de 90% foram planejadas para serem derrubadas no sentido da queda natural (Tabela 5). Reforçando que a derruba direcionada é bastante influenciada pelas árvores que apresentam tendência de queda natural bastante pronunciadas. Nesse conjunto (4,1% das 1.075 árvores) pouquíssimas árvores (menos de 10%) tiveram planejamento de direcionamento diferente ao da queda natural. O que não evitou que essas árvores acabassem caindo na direção da queda natural. Os tempos em minutos para o planejamento, corte e derruba dessas árvores que coincidiram a queda efetiva com a direção da queda natural foram em média de 6,4; 8,0; 14,3, respectivamente (Tabela 5).

As espécies jatobá (Jato: *Hymenaea courbaril*), jutaí mirim (JutaiMi: *Hymenaea parvifolia*), quaruba (Quaru: *Erisma uncinatum*) e tauari (Taua: *Couratari guianensis*), concentraram 25 (56,82%) árvores apresentando este comportamento. Mas as espécies cuiarana (Cuia: *Terminalia amazonia*), cupiúba (Cupiu: *Goupia glabra*), garapeira (Garap: *Apuleia leiocarpa*), muiracatiara (Muir: *Astronium lecointei*) e

sapucaia (Sapu: *Lecythis pisonis*) não apresentaram árvores com queda efetiva no sentido da queda natural (Fig.4 e Figura 5C). Cedrorana e maçaranduba apresentaram maiores variações de QPE%. Porém, devido ao reduzido número de indivíduos (dois indivíduos) dessas duas espécies, assim como das demais desta categoria, a variação observada pode ser desconsiderada.

iv) QN=QP=QE - Direções de queda natural, planejada e efetiva na mesma direção e sentido:

Quando ângulo de queda efetiva da árvore se sobrepõe ao ângulo de direção de queda planejado, o qual foi feito no sentido da queda natural. Nessa categoria, pode-se considerar que não havia necessidade ou alternativa para o direcionamento de queda da árvore.

**Tabela 6**

Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando QN=QP=QE na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

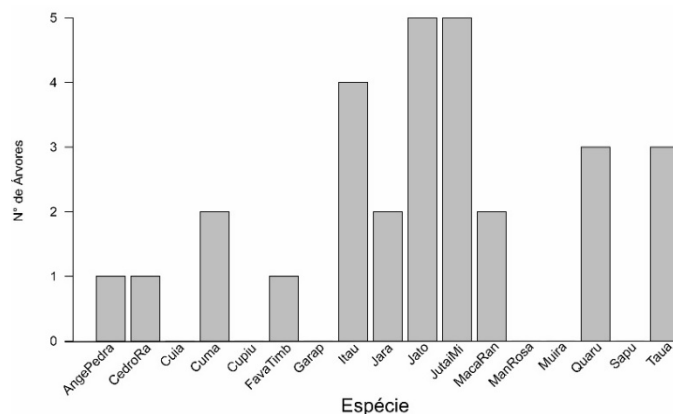
Variáveis	n	Média	Mínimo	1°Quartil	Mediana	3°Quartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Db (g/cm <sup>3</sup> )	29	0,73	0,48	0,5900	0,76	0,87	0,91	0,43	-0,39	-1,35
Planejamento (min)	29	6,97	2,00	3,00	5,00	10,00	27,00	25,00	1,82	4,58
Corte (min)	29	7,69	3,00	5,00	6,00	9,00	18,00	15,00	1,29	0,72
Derruba (min)	29	14,66	5,00	10,00	14,00	18,00	36,00	31,00	1,13	1,48
QNP (%)	29	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	-	-
QPE (%)	29	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	-	-
QNE (%)	29	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	-	-
Danos (n°de ind.)	29	1,90	0,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	-0,70	-1,07
DAP (cm)	29	84,35	58,25	69,07	78,62	97,40	124,14	65,89	0,51	-1,04
Altura (m)	29	22,97	10,00	20,00	22,00	27,00	31,00	21,00	-0,58	-0,21
VolArv (m <sup>3</sup> )	29	7,29	2,58	4,34	5,54	10,28	15,85	13,27	0,68	-0,82
Basal (m <sup>2</sup> )	29	0,58	0,27	0,37	0,49	0,75	1,21	0,94	0,75	-0,60
VolGal (m <sup>3</sup> )	29	3,93	1,67	2,55	3,33	5,18	8,71	7,03	0,86	-0,10

QN: Direção de queda natural expressa em graus, QP: Direção de queda planejada expressa em graus, QE: Direção de queda efetiva expressa em graus, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em porcentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, Danos (n°ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv. (m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal (m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

Na amostragem de 1.075 árvores, somente 29 (2,7%) apresentaram sobreposição simultânea de ângulos de direção de queda natural, planejada e efetiva.

Das 29 (2,7%) árvores, as espécies: jatobá (Jato: *Hymenaea courbaril*); jutai mirim (JutaiMi: *Hymenaea parvifolia*); itaúba (Itau: *Mezilaurus itauba*); Quaruba (Quaru: *Erismia uncinatum*) e; tauari (Taua: *Couratari guianensis*) concentraram (69 %) árvores dessa categoria (Fig.4). As espécies cuiarana (Cuia: *Terminalia amazonia*), cupiúba (Cupiú: *Goupia glabra*), garapeira (Garap: *Apuleia leiocarpa*), mandioqueira rosa (ManRosa: *Qualea dinizii*), muiracatiara (Muir: *Astronium*

*lecointei*) e sapucaia (Sapu: *Lecythis pisonis*) não apresentaram árvores no qual a queda efetiva foi igual ao percurso natural, tal como planejado (Fig.6). A mediana dos tempos de planejamento, corte e derruba foram de 5, 6 e 14 minutos, respectivamente (Tabela 6).



**Fig.6.** Número de árvores por espécie quando QN=QP=QE na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

QN: Queda Natural, QP: Queda Planejada, QE: Queda Efetiva, AngePedra: angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cuia: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumaru (*Dipteryx odorata*), Cupiu: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itau: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaiMi: jutaí mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRa: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecointei*), Quaru: quaruba (*Erisma uncinatum*), Sapu: sapucaia (*Lecythis pisonis*), Tauga: tauari (*Couratari guianensis*).

#### v) QN≠QP≠QE - Direções de queda natural, planejada e efetiva diferentes:

Essa situação ocorre quando uma árvore apresenta o ângulo de direção de queda efetiva diferente dos ângulos de queda natural e de queda planejada. Nessa categoria o direcionamento da árvore saiu completamente do planejamento do motosserrista.

**Tabela 7**

Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada quando QN≠QP≠QE na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

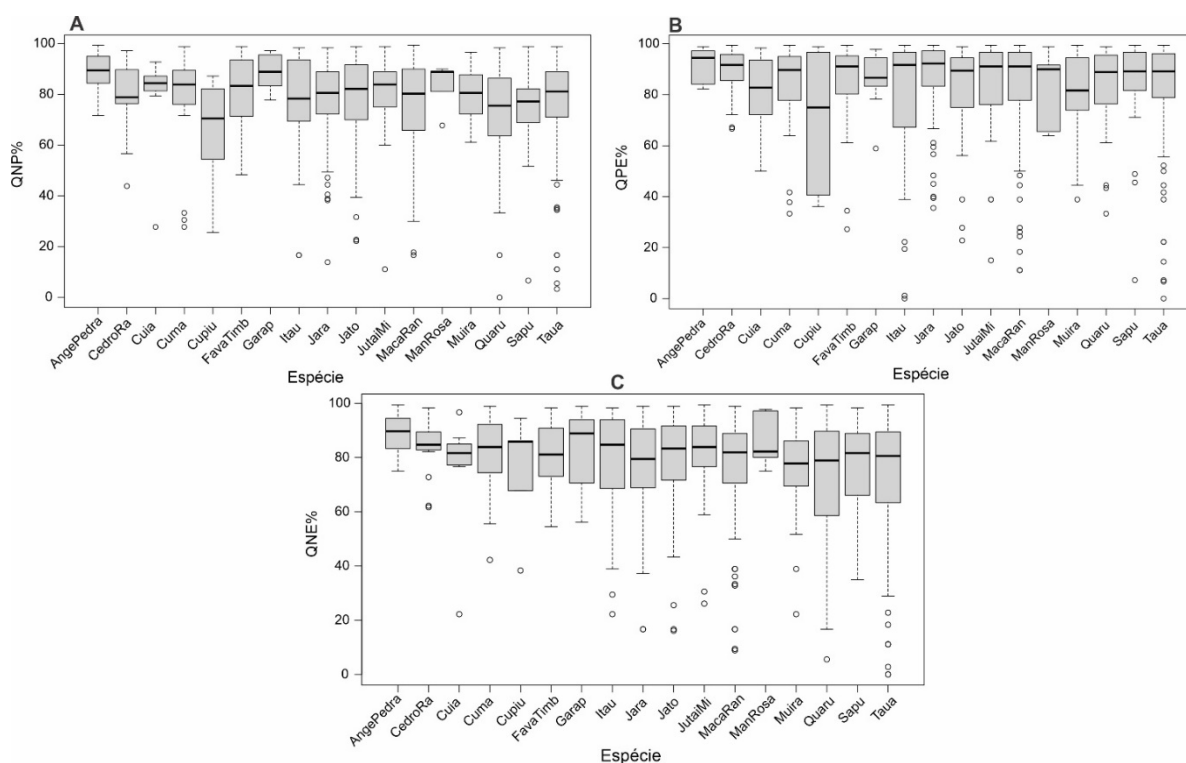
Variáveis	n	Média	Mínimo	1ºQuartil	Mediana	3ºQuartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Db (g/cm <sup>3</sup> )	641	0,72	0,48	0,52	0,76	0,87	0,91	0,43	-0,44	-1,43
Planejamento (min)	641	6,87	2,00	3,00	6,00	9,00	26,00	24,00	1,28	1,50
Corte (min)	641	7,76	3,00	5,00	7,00	10,00	24,00	21,00	1,51	2,29
Derruba (min)	641	14,63	5,00	10,00	13,00	18,00	40,00	35,00	0,98	0,57
QNP (%)	641	77,27	0,00	70,56	81,67	88,89	99,44	99,44	-1,65	3,26
QPE (%)	641	82,94	0,00	77,78	90,00	96,11	99,44	99,44	-1,95	3,72
QNE (%)	641	76,88	0,00	69,44	82,22	90,00	99,44	99,44	-1,56	2,51
Danos (nº de ind.)	638	2,02	0,00	0,00	2,00	3,00	8,00	8,00	0,55	-0,04
DAP (cm)	641	81,07	51,57	67,16	77,03	90,72	197,35	145,79	1,43	3,56
Altura (m)	641	22,42	7,00	19,00	23,00	27,00	34,00	27,00	-0,42	-0,41
VolArv (m <sup>3</sup> )	641	6,68	1,35	4,19	5,68	8,21	30,14	28,79	1,81	5,09
Basal (m <sup>2</sup> )	641	0,54	0,21	0,35	0,47	0,65	3,06	2,85	2,72	13,77
VolGal (m <sup>3</sup> )	641	3,69	1,34	2,33	3,14	4,32	23,61	22,27	3,15	18,64

QN: Direção de queda natural expressa em graus, QP: Direção de queda planejada expressa em graus, QE: Direção de queda efetiva expressa em graus, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba (min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em percentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Danos (nº ind.): Número de árvores danificadas após a operação

de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal(m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

Das 641 (59,62%) árvores avaliadas, houve em média 82,94% de acerto da queda planejada (ou 17,06% de erro, equivalente a 30 graus), embora 25% (1° quartil) terem apresentado valores de 77,78% abaixo do valor da mediana (90%) e 96,11% acima da mediana (3° quartil) (Tabela 7). Com relação as árvores planejadas no sentido da queda natural, 75% delas apresentaram mais de 88% de proximidade entre estes ângulos. E a diferença angular entre as direções de queda natural e efetiva, observou-se uma proximidade de 90% entre ângulos.

As espécies jarana (Jara: *Lecythis lurida*), jatobá (Jato: *Hymenaea courbaril*), maçaranduba (MacaRan: *Manilkara elata*) e tauari (Taua: *Couratari guianensis*) concentraram 381 (59,44%) árvores com este comportamento (Fig.4). Os tempos de planejamento, corte e derruba foram em média de 6,9, 7,8 e 14,3 minutos, respectivamente. Sendo sequencialmente os tempos para mediana de 6, 7 e 13 minutos e a dispersão para primeiro quartil de 3, 5, 10 e terceiro quartil de 9, 10, 18.



**Fig.7.** Direcionamentos de queda de árvores quando  $QN \neq QP \neq QE$ : QNP% (A); QPE% (B); QNE% (C) na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

QN: Queda Natural, QP: Queda Planejada, QE: Queda Efetiva, AngePedra: angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cuia: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumaru (*Dipteryx odorata*), Cupiu: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itau: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaiMi: jutai mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRan: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecointei*), Quaru: quaruba (*Erismia uncinatum*), Sapu: sapucaia (*Lecythis pisonis*), Taua: tauari (*Couratari guianensis*).

De maneira geral, as variações angulares de QNP%, QPE% e QNE% oscilam entre 80% e 90% de sobreposição, demonstrando que os ângulos das direções de queda planejada (QP) e efetiva (QE) estão próximos da natural (QN) (Fig.7).

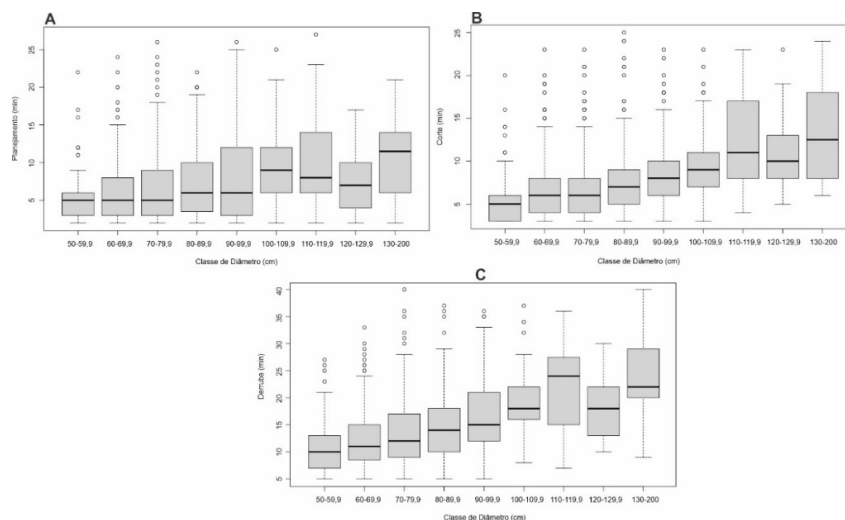
vi) QNP, QPE, QNE em sentidos opostos:

Essa situação se apresenta quando a diferença angular entre as direções de queda ocorre em 180 graus, ou seja, em sentidos opostos.

Os ângulos entre as direções de queda natural e planejada, planejada e efetiva; e natural e efetiva apresentaram 180 graus de distância em quatro, duas e cinco árvores, respectivamente, o que representou 1% das árvores do universo amostral. As espécies maçaranduba (MacaRan: *Manilkara elata*), jatobá (Jato: *Hymenaea courbaril*), quaruba (Quaru: *Erismia uncinatum*), itaúba (Itau: *Mezilaurus itauba*) e tauari (Taua: *Couratari guianensis*) apresentaram este comportamento. Tauari (Taua: *Couratari guianensis*) apresentou cinco árvores com proximidade de 0%. Destas, três eram referentes a QNE% e uma árvore para QNP% e QPE%.

### Tempos de Planejamento, Corte e Derruba

A mediana do tempo de planejamento entre as classes de 50 cm a 90 cm de diâmetro manteve-se inferior a seis minutos. Nas classes de 100 cm à 120 cm de diâmetro, manteve-se inferior a dez minutos e acima desse valor maiores que 130 cm de diâmetro. Enquanto que a mediana do tempo de corte aumentou um minuto entre as classes de diâmetro, enquanto no tempo de derruba a mediana permaneceu inferior a 15 minutos para as árvores com diâmetros até 100 cm.



**Fig.8.** Tempos de planejamento (A), corte (B) e derruba (C) por classe de diâmetro na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.



Pesquisas relacionados à derruba direcionada de árvores foram pouco produzidos. O estudo mais antigo e também o que apresentou maior robustez na coleta de dados foi a pesquisa realizada por Vande der Hout (1999) na Guiana Inglesa. Estudos posteriores datam até 2013. A maioria das pesquisas nessa temática são publicadas na forma de teses ou relatórios. Apenas três artigos científicos abordando a derruba direcionada foram publicados, sendo dois no Irã e um na Malásia (Tabela 8). O que reforça a importância de mais estudos serem conduzidos, principalmente na florestas manejadas das regiões tropicais, como a região Amazônica.

**Tabela 8**

Levantamentos relacionados a eficiência da atividade de derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

<b>Autor</b>	<b>Nº Árvores</b>	<b>Média DAP</b>	<b>Amplitude DAP</b>	<b>Local</b>
VAN der HOUT (1999)	387	55,7	10 >=40	Guiana Inglesa
HENDRISON (2000)	362	55	45-70	Suriname
JONKERS (2000)	50	91	70-138	República dos Camarões
CEDERGREN et al., (2002)	41	89	62 - 165	Malásia
NIKOOY et al., (2013)	135	62	25-102	Iran
JOURGHOLAMI et al., (2013)	233	52,3	20-135	Iran
Presente estudo	1075	80,1	50,6 - 197,4	Flona Tapajós - Brasil

DAP: Diâmetro a altura do peito, medido em centímetros.

#### 4. DISCUSSÃO

A queda natural pode ser classificada em ampla (360 graus) quando a árvore apresenta uma copa bem distribuída e um fuste completamente reto; intermediária (90 a 180 graus) quando os galhos estão mais voltados para um dos lados da copa, porém apresentando um fuste reto; e limitada (<90 graus), quando a copa é muito desigual com um fuste apresentando inclinação (AMARAL et al., 1998).

A queda direcionada considera apenas o intervalo entre 10 e 45 graus ao redor da direção de queda natural, sendo que quanto menor o ângulo de inclinação da árvore, maior a possibilidade de aumentar o ângulo da queda direcionada, até um limite máximo de 90 graus em relação a direção de queda natural, como no caso de árvores com o fuste reto em posição vertical, apresentando galhos bem distribuídos ao longo da copa e do eixo do fuste (NOGUEIRA et al., 2011), como no caso das árvores emergentes (TURNER, 2004).

Em florestas tropicais a assimetria de copas das árvores é bastante comum (YOUNG e HUBBELL, 1991) principalmente em árvores de menor porte, pois tendem a concentrar seus galhos em um determinado lado da copa, na tentativa de aproveitar

melhor a luminosidade que vem de possíveis aberturas do dossel da floresta. Isso justifica o alto percentual de proximidade entre os ângulos de queda natural e queda planejada.

No presente estudo praticamente um terço das árvores foi planejada exatamente para o percurso da queda natural. O que difere em situações onde a árvore apresenta copa simétrica e fuste perfeitamente reto horizontalmente, o que favorece em alguns casos a perda do controle no direcionamento de queda, devido a algum fator externo ou operacional, fazendo com que a árvore caia em um sentido oposto a direção de queda planejada. Pois árvores bem centradas podem cair para qualquer lado (HENDRISSON, 1990; SESSIONS, 2007), pois ficam mais suscetível a mudanças em seu curso de queda. Ocasionalmente árvores poderão cair em uma direção improvável, devido à fatores, tais como, mau planejamento por parte do motosserrista, falhas na estrutura da madeira, ocorrência de discretas rajadas de vento (CEDERGREN et al., 2002) e dimensões nas estruturas do corte (NAGHDI et al., 2016).

O ângulo de direção de queda natural foi igual ao da direção de queda planejada em 29,58% (318) das árvores analisadas. Dentre estas, 75% apresentaram um desvio de até 5 graus em relação a direção de queda natural. O que demonstra que é necessária muita habilidade para direcionar a queda de uma árvore, mesmo que seja no sentido natural, que supostamente seria mais fácil. No geral, a avaliação do QNP% considerou 98,51% das árvores do presente estudo, independente de sobreposições (QN=QP). Para este conjunto de dados a amplitude interquartílica foi de 23,89% (136 graus) e mediana de 88,89% (20 graus), mostrando que o planejamento da direção de queda em sua maioria (>75% das observações) é realizado direcionando a árvore para a direção de queda natural.

Com relação as direções de queda planejada e direção de queda efetiva, 5,67% (61) das árvores apresentaram igualdade entre essas direções. Mais de 50% das árvores deste conjunto apresentaram valores superiores a 94,44% ( $\geq 10$  graus) de proximidade entre ângulos de queda natural e queda planejada. De maneira mais abrangente o QPE% foi avaliado em 92,65% das árvores, independentemente de apresentarem sobreposições (QP=QE). Para este conjunto de dados a amplitude interquartílica foi de 16,11% (151 graus) e uma mediana de 91,67% (15 graus), mostrando que o planejamento da direção de queda em sua maioria (>75% das observações) é muito próximo da queda natural (96,67%=6 graus).

O ângulo de direção de queda natural foi igual ao da direção efetiva em 4,09% (44) das árvores observadas. No geral, a variação percentual (QNE%) foi avaliada em 98,51% das árvores independente de terem apresentado sobreposições (QN=QE). Para este conjunto de dados a amplitude interquartilica foi de 20,55% (143 graus) com mediana 85% (27 graus), evidenciando que a direção de queda efetiva, em sua maioria (>75% das observações) é muito próximo da queda natural (94,44%=10 graus).

No conjunto de dados onde as direções de queda natural, planejada e efetiva foram iguais entre si, observou-se que estas 29 (2,7%) árvores estão distribuídas nos conjuntos de dados discutidos anteriores (QN=QP, QP=QE, QN=QE). Esta frequência reduzida (2,7%) demonstrou na atividade de derruba direcionada, que é muito raro as árvores seguirem um mesmo direcionamento. Mesmo as árvores que foram direcionadas para o sentido de queda natural, não apresentaram 100% de exatidão.

Avaliando-se 641 (59,63%) árvores que apresentaram direções de queda natural, planejada e efetiva diferentes entre si e simultaneamente menores que 100% de proximidade (QN≠QP≠QE), observou-se que nesse conjunto de árvores as medianas foram superiores a 80% ( $\leq 36$  graus) de proximidade angular. Além de valores próximos ou superiores a 90% ( $\leq 18$  graus) no quartil superior à mediana, com um intervalo interquartilico médio (QNP%, QPE%, QNE%) de 19,20% ( $\approx 145$  graus). Reforçando a ideia que os ângulos de direcionamentos de queda natural, planejado e efetivo estão muitos próximos entre si.

Direcionamentos de queda com 0% (180 graus) de proximidade entre os as direções de queda planejada e efetiva foram verificadas em 11 (1,02%) árvores analisadas as quais estão distribuídas entre as 641 (59,63%) das árvores do conjunto anterior, onde todas ângulos são diferentes entre si. Situações como essa, ocorrem na maioria das vezes, devido ao completo alinhamento do fuste ao plano vertical, bem como na presença de uma distribuição simétrica dos galhos na copa e em equilíbrio ao longo do fuste da árvore, o que potencializa a mínima interferência que possa ocorrer na operação de derruba.

Entretanto quando uma árvore apresenta uma inclinação superior a 20 graus com o plano vertical, o ângulo horizontal de queda direcionada poderá variar em um intervalo entre 5 a 10 graus em relação a queda natural (NOGUEIRA et al., 2011). Diante dessa situação nem sempre é possível aplicar as técnicas de direcionamento de queda nas árvores (HENDRISON, 1990; SABOGAL et al., 2009). Pois geralmente

a direção de corte corresponde a inclinação da árvore (SESSIONS, 2007). O que justifica o grande número de árvores que são planejadas para o sentido natural ou que assumem a direção de queda natural ou próximo do sentido natural.

Nos primeiros experimentos envolvendo práticas de exploração florestal realizadas na região do Tapajós, a recomendação sugerida era de derrubar a árvore para o sentido de sua inclinação natural e quando possível, direcioná-las para a trilha de arraste mais próxima (COSTA FILHO e LIMA, 1992) de maneira que pudessem se posicionar em ângulos entre 30 e 60 graus em relação à trilha de forma a facilitar o arraste (HENDRISON, 1990; VAN der HOUT, 1999).

Em geral pesquisas que realizaram levantamentos sobre a eficiência do direcionamento de queda de árvores em operações de exploração florestal não foram muito numerosas. A escassez em levantamentos dessa natureza, talvez seja justificado pelo alto grau de periculosidade que essa atividade apresenta em campo.

Na região da República dos Camarões, Jonkers (2000) observou em 50 árvores uma variação de até 140 graus entre a direção de queda planejada e queda efetiva. Na Guiana Inglesa, de 387 árvores derrubadas, 20% foi ajustada planejamento diferente da queda natural, dessas resultou que 50% desviou-se em até 30 graus da direção de queda planejada e os demais 50% apresentaram desvios superiores a 30 graus (VAN der HOUT, 1999). Hendrison (1990) observou em uma floresta do Suriname, que de 362 árvores derrubadas, 288 (80%) caíram no sentido da queda planejada, com variação de até 45 graus para ambos os lados; menos de 11% apresentaram uma variação de 90 graus em relação a direção planejada e apenas 24 árvores (7%) caíram na direção oposta ao direcionamento de queda.

No presente estudo 61 (5,7%) árvores seguiram o percurso de planejamento de queda realizado pelo operador. Entretanto, se considerarmos o planejamento de queda entre 0 graus (100%) e 45 graus (75%) o número chega a 822 (76,47%) árvores. E aumentando o intervalo para 90 graus (50%) o presente estudo contabiliza 930 árvores. Apenas duas (0,19%) árvores caíram em sentido oposto ao planejado pelo operador.

Hendrison (1990) constatou que entre 30 e 60 graus em relação às direções de queda natural e planejada, um maior tempo para o corte era exigido e que ângulos superiores a 90 graus em relação a direção planejada apresentavam um maior grau de dificuldade.

Nas mesmas condições, o presente estudo obteve 25% das árvores com tempos igual ou inferiores a 10 minutos para serem cortadas e em tempos médios 14 minutos e outros 25% tempos até 19 minutos. E com relação aos diâmetros, Hendrison (1990) observou que árvores maiores que 90 cm poderiam necessitar mais de 10 minutos para serem cortadas e que 39 (11%) destas árvores assumiram a direção oposta ao da inclinação natural, sendo que árvores com até 60 cm de diâmetro apresentaram maior facilidade de serem direcionadas. Em uma floresta da província de Guilan, no Iran, 52% das árvores derrubadas apresentaram variação inferior a 20 graus entre as direções de queda natural e queda planejada (NIKOOY et al., 2013), ou seja, um nível de acerto de aproximadamente 89% de proximidade entre os ângulos de direção de queda natural e planejada, se comparado com a escala do presente estudo.

De acordo com os dados da presente pesquisa, 50% das árvores maiores que 90 cm de diâmetro apresentaram 9 minutos para o tempo de corte. E considerando todas as classes de diâmetro apenas cinco (<0,5%) árvores assumiram posição oposta à queda natural, sendo que destas, apenas duas árvores eram acima de 90 cm de diâmetro. Hendrison (1990) também enfatizou um aumento de 3,6 a 4,7 minutos no tempo de corte entre as classes de 70 cm e 80 cm de diâmetro.

Os tempos de planejamento, corte e derruba do presente levantamento, obtiveram aumentos de tempo próximos de um minuto entre o acréscimo dos intervalos de 10 cm de diâmetro, com medianas de seis minutos para tempos de planejamento e corte, e 13 minutos para o tempo de derruba, esses valores foram superiores aos observados em outros estudos tais, como: Guiana Francesa constatou que os tempos necessários para o planejamento e corte de uma única árvore foram em média de 4,7 minutos e 10,1 minutos, respectivamente (VAN der HOUT, 1999). No Suriname, Jonkers (2000) obteve uma média de 4,17 e 6,32 minutos para o planejamento e corte de uma árvore respectivamente. Porém esses valores de tempo são influenciados pelas dimensões das árvores (WANG et al., 2004; JOURGHOLAMI et al., 2013; ACOSTA et al., 2018). Em geral os trabalhos realizados com o objetivo de caracterizar a derruba direcionada em florestas tropicais apresentaram valores médios de diâmetro variando entre 55 cm e 89 cm.

## 5. CONCLUSÃO

Neste estudo as árvores foram derrubadas com direcionamento de queda predominante para a direção de queda natural ou próximo da direção natural, o que foi evidenciado pela aderência entre os ângulos de direção de queda natural e planejada, planejada e efetiva e, natural e efetiva. Mostrando que a atividade de direcionamento de queda de árvores na exploração florestal sofre bastante influência da tendência de queda natural apresentado pela árvore, a qual é influenciada pelas dimensões da copa e do próprio fuste. Esses são fatores decisivos que os motossaristas devem levar em consideração no momento da derruba. Também é uma informação fundamental para grupos de capacitação e treinamento.

## 6. REFERÊNCIAS

- ACOSTA, F. C.; OLIVEIRA, D. C.; ARRUDA, C.; GARCIA, M. L.; MELO, R. R. Operational Performance of the Selective Cutting of Trees With Chainsaw. *Floresta e Ambiente*, 25(3): e20160239. 2018.
- AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. *Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia*. Belém: IMAZON. 1998.
- ANDRADE, D.F.C., GAMA, J.R.V., RUSCHEL, A.R., MELO, L.O., AVILA, A.L., CARVALHO, J.O.P. 2019. Post-fire recovery of a dense ombrophylous forest in Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920170840>
- BEEN, A.; CRUBILE, P.; STREHLKE, B.; Food and Agriculture Organization of the United Nations; International Labour Organisation, Rome: FAO; FAO Training series n.2, 1980. 100 p.
- BRAZ, E. M.; d'OLIVEIRA, M. V. N. Abate de árvores em floresta tropical. *Circular Técnica*, nº16, Rio Branco, AC. Embrapa-CPAFAC. 1997. 30p.
- CARNEIRO, F.S; RUSCHEL, A. R.; FREITAS, L. J. M.; PINHEIRO, K.A.O.; SANTOS, J. C.; D'ARACE, L. M. B.; COELHO, F. A. Densidade da madeira de espécies florestais de quatro áreas experimentais da Amazônia oriental brasileira. Atena Editora, Ponta Grossa, PR. 2020. 56p.
- CEDERGREN, J.; FALCK, J.; GARCIA, A.; GOH, F.; HAGNER, M. Feasibility and usefulness of directional in a tropical rain forest. *Journal of Tropical Forest Science*, 14(2):179-190. 2002.
- COOPERATIVA MISTA DA FLONA TAPAJÓS. Plano Operacional Anual: Unidade de Produção Anual nº13. 2018.
- COSTA FILHO, P.P.; LIMA, J.M. Noções de exploração mecanizada para floresta de terra firme - caso Curuá-Una. Belém: EMBRAPA-CPATU. Documentos, 64. 20 p. 1992.

DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. FAO model code of forest harvesting practice. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. ISBN 92-5-103690-X. 85p. 1996.

FORSHEED, O.; UDARBE, T.; KARLSSON, A.; FALCK, J. Initial impact of supervised logging and pre-logging climber cutting compared with conventional logging in a dipterocarp rainforest in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, v. 221: 233-240. 2006.

GHAZOUL, J.; HILL, J. The impacts of selective logging on tropical forest invertebrates. In: Fimbel, R. A.; Grajal, A.; Robinson, J. G. (Eds.) *The cutting edge: conserving wildlife in logged tropical forest*. Columbia University Press, New York, 2001, p. 261 - 288.

HEINRICH, R.; ARZBERGER, U. Forest Operations in the Tropics, Reduced Impact Logging. In: Burley, J.; Evans, J.; Youngquist, J. A. (Eds.) *Encyclopedia of Forest Sciences*. Oxford, UK. Elsevier Academic Press, 2004. p. 247 - 252.

HENDRISON, J. Damage-controlled logging in managed tropical rain forest in Suriname. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University. *Ecology and Management of Tropical Rain Forests in Suriname*, Wageningen, the Netherlands. 204 p. 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências (Manuais Técnicos de Geociências, 1). 2012.

JONKERS, W. B. J. Logging, damage and efficiency: a study on the feasibility of Reduced Impact Logging in Cameroon. Kribi (Cameroon). Final Report. 57 pp. 2000. [online] URL: <http://www.tropenbos.org/file.php/128/tcpreport00-3.pdf>.

JOURGHOLAMI, M.; MAJNOUNIAN, B.; ZARGHAM, N. Performance, capability and costs of motor-manual tree felling in Hyrcanian hardwood forest. *Croatian Journal of Forest Engineering*, v.34(2): 283-293. 2013.

KELLER, M.; ASNER, G. P.; SILVA, N.; PALACE, M. Sustainability of Selective Logging of Upland Forests in the Brazilian Amazon: Carbon Budgets and Remote Sensing as Tools for Evaluating Logging Effects. In: Zarin, D. J.; Alavalapati, J. R. R.; Putz, F. E.; Schmink, M. (Eds.) *Working Forests in the Neotropics - Conservation Through Sustainable Management?* New York, Columbia University Press, 2004, p. 41 - 63.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

KRUEGER, W. Effects of future crop tree flagging and skid trail planning on conventional diameter-limit logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, v.188, p. 381-393, 2004.

MASON, D. J.; PUTZ, F. E. Reducing the impacts of tropical forestry on wildlife. In: Fimbel, R. A.; Grajal, A.; Robinson, J. G. (Eds.) *The cutting edge: conserving wildlife in logged tropical forest*. Columbia University Press, New York, 2001, p. 473 - 509.

MOSTACEDO, B. *Silviculture of Tropical Dry Forests: Bolivian Case Study*. In: Günter, S.; Weber, M.; Stimm, B.; Mosandl, R. (Eds.), *Silviculture in the Tropics, Tropical Forestry 8*, Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011, p. 285 -295.

NAGHDI, R.; NIKOOY, M.; GHAJAR, I.; ERSHADIFAR, M. A practical linear model for estimation of tree falling direction error in mountainous forests of Northern Iran. *Ecopersia*, 4(3):1505-1516. 2016.

NIKOOY, M.; NAGHDI, R.; ERSHADIFAR, M. Survey of Directional Felling and Analysis of Effective Factors on Felling Error. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. vol. 11, n.2, 177-184. 2013.

NOGUEIRA, M.M.; VIEIRA, V.; SOUZA, A.; LENTINI, M.W. *Manejo de florestas naturais da Amazônia: corte, traçamento e segurança*. Belém: Instituto Floresta Tropical. 2011.

PARROTTA, J.A.; FRANCIS, J.K.; ALMEIDA, R.R. *Trees of the Tapajós – a photographic field guide*. General Technical Report IITF-1, Río Piedras, Puerto Rico: United States Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 1995.

PEREIRA JUNIOR, R. A. *Manual Técnico de Manejo Florestal: Guia Gerencial para a Produção responsável na Amazônia Brasileira*. Belém: Instituto Natureza Amazônica, 42 p. 2003.

PINARD, M. A. e PUTZ, F. E. Monitoring carbon sequestration benefits associated with a reduced-impact logging project in Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 2, p. 203-215, 1997.

PINARD, M.A.; PUTZ, F.E.; TAY, J.; SULLIVAN, T.E. Creating Timber Harvest Guidelines for a Reduced-Impact Logging Project in Malaysia. *Journal of Forestry*, v.93(10): 41-45. 1995.

PUTZ, F. E.; SIST, P.; FREDERICKSEN, T.; DYKSTRA, D. Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 256: 1427-1433, 2008b.

PUTZ, F. E.; ZUIDEMA, P. A.; PINARD, M. A.; BOOT, R. G. A.; SAYER, J. A.; SHEIL, D.; SIST, P.; ELIAS, M.; VANCLAY, J. K. Improved tropical forest management for carbon retention. *PLoS Biol* 6(7): e166. doi:10.1371/journal.pbio.0060166, 2008a.

PUTZ, F.E.; PINARD, M.A. Reduced-impact Logging as a carbon-offset method. *Conservation Biology*, v.7(4):755-757. 1993.

SABOGAL, C.; POKORNY, B.; SILVA, J.N.; CARVALHO, J.O.P.; ZWEEDE, J.; PUERTA, R. *Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2009.

SESSIONS, J. *Harvesting Operations in the Tropics*. Springer. 170 p. 2007.



TURNER, I.M. The Ecology of Trees in the Tropical Rain Forest. Cambridge University press. Cambridge, United Kingdom. 2004. 298 p.

VAN der HOUT, P. Reduced Impact Logging in the Tropical Rain Forest of Guyana: Ecological, Economic, and Silvicultural Consequences, vol. 6. Tropenbos-Guyana Series, Wageningen, The Netherlands. 335 p. 1999.

WANG, J.; LONG, C.; MCNEEL, J., BAUMGRAS, J. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in Central Appalachian hardwood forests. Forest Products Journal, v.54, n.12, p. 45-51, 2004.

YOUNG, T. P.; HUBBELL, S. P. Crown Asymmetry, Treefalls and Repeat Disturbance of Broad-Leaved Forest Gaps. Ecology, Vol.72, n.4, p. 1464 - 1471. 1991.

## ARTIGO 2: FATORES QUE INFLUENCIAM A DERRUBA DIRECIONADA DE ÁRVORES NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, AMAZÔNIA, BRASIL.

### RESUMO

Devido à complexidade da atividade de derruba direcionada, considerada uma das mais perigosas da fase exploratória em empreendimentos que manejam a floresta para a obtenção de madeira em tora, são necessários estudos mais detalhados das variáveis que influenciam sua execução. O presente estudo foi conduzido na Floresta Nacional do Tapajós, Amazônia brasileira, sendo analisadas 1.075 árvores que foram abatidas por meio da técnica de derruba direcionada em uma área de 504,30 ha. Para melhor entendimento da derruba direcionada, foram aplicadas análises descritivas das variáveis envolvidas, bem como de análise de componentes principais, que é uma técnica multivariada que possibilita uma análise conjunta de diversas variáveis simultaneamente. As variáveis diâmetro, área basal e volumes de fustes e galhos contribuíram com a maior parte da variabilidade envolvidas na atividade de derruba direcionada. A altura comercial foi a variável que menos influenciou. As árvores da espécie angelim pedra apresentaram forte correlação com as variáveis dendrométricas diâmetro e volumes de fuste e galho. Enquanto jatobá apresentou forte correlação com a variável altura comercial. Fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), cumaru (*Dipteryx odorata*), jutai mirim (*Hymenaea parvifolia*) e muiracatiara (*Astronium lecointei*), apresentaram forte correlação com a densidade básica da madeira. As árvores das espécies tauari, sapucaia, muiracatiara, itaúba e cupiúba apresentaram menores correlações com os tempos de planejamento, corte e derruba e com as diferenças angulares entre direção de queda natural e efetiva, e direção de queda planejada e efetiva, mostrando que essas espécies não seguem um padrão definido com relação às técnicas de direcionamento de queda de árvores. Entretanto as árvores das demais espécies não apresentaram o mesmo comportamento. Em geral, as árvores derrubadas não apresentaram correlação com as variáveis tempo de corte e tempo total de operação da derruba direcionada. As análises sugerem que quanto maior o diâmetro, menor será a chance de sucesso no direcionamento de queda de uma árvore.

Palavras chave: exploração de impacto reduzido, direção de queda, queda natural, variáveis dendrométricas, motosserristas, análise de componentes principais.

## Factors Influencing Directional Tree Felling in the *Tapajós* National Forest, Amazon, Brazil

### ABSTRACT

Given its complexity, directional felling is considered one of the most dangerous activities in the exploratory phase of forest management projects for timber obtention. Therefore, detailed studies of the variables influencing its execution are necessary. The present research was conducted in the *Tapajós* National Forest, Brazilian Amazon, and analyzed 1,075 trees logged using the directional felling technique in a 504.30 ha area. To better understand directional felling, the studied variables were subjected to descriptive analyses and principal component analysis, a multivariate procedure that enables the simultaneous evaluation of several variables. While the diameter, basal area, and stem and branch volume explained most of the variability concerning directional felling, the commercial height influenced the least. Trees of the species *Hymenolobium petraeum* (*angelim pedra*) strongly correlated with the dendrometric variables diameter and stem and branch volume. Those of the species *Hymenaea courbaril* (*jatobá*) showed a strong correlation with the commercial height. *Pseudopiptadenia psilostachya* (*fava timborana*), *Dipteryx odorata* (*cumarú*), *Hymenaea parvifolia* (*jutai mirim*), and *Astronium lecointei* (*muiracatiara*) had a strong correlation with the basic wood density. Trees of the species *Couratari guianensis* (*tauari*), *Lecythis pisonis* (*sapucaia*), *Astronium lecointei* (*muiracatiara*), *Mezilaurus itauba* (*itaúba*), and *Goupia glabra* (*cupiúba*) showed lower correlations with the time needed for planning, cutting, and felling. They also had a reduced correlation with the angular differences between the natural and effective and the intended and effective felling directions. The latter results suggest that these species do not follow a defined pattern concerning the directional felling technique. However, trees of the other species followed a different tendency. In general, the logged trees lacked correlation with the directional felling cutting and total operation time. The analyses suggest that as the diameter of a tree increases, the chances of completing its directional felling decrease.

**Keywords:** reduced impact logging, directional felling, natural fall, dendrometric variables, chainsaw operator, principal component analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

Um componente importante do manejo da floresta é a adoção de práticas cuidadosas de exploração, planejadas para reduzir os danos à floresta remanescente (JOHNS et al., 1998; DYKSTRA e HEINRICH, 1996; SABAGAL et al., 2009; NOGUEIRA et al., 2011), pois a exploração não planejada aumenta drasticamente os impactos sobre a biodiversidade e função do ecossistema (BICKNELL et al., 2014; BICKNELL et al., 2015; EDWARDS et al., 2013; EDWARDS et al., 2014) e resultam na destruição de grande parte da regeneração pré-existente de árvores de valor comercial prejudicando à produtividade ecológica e econômica em longo tempo (PUTZ e PINARD, 1993; PUTZ et al., 2012).

A exploração florestal de impacto reduzido (EIR) idealizada nos anos de 1990 (PUTZ e PINARD, 1993) concilia um conjunto de técnicas que visam a proteção ambiental com a produção de madeira em florestas exploradas seletivamente nos trópicos (ELLIS e PUTZ, 2019). Uma dessas técnicas é o corte planejado de árvores com queda direcionada, utilizando motosserra. E para atingir as metas do manejo florestal sustentável a derruba direcionada é um fator importante a ser considerado (NIKOOY et al., 2013), pois se não for realizado de forma adequada podem resultar sérios danos a comunidade florestal remanescente (NAGHDI, et al., 2016).

O corte florestal semimecanizado utilizando motosserra é o mais difundido no Brasil (SANTANNA e MALINOVSKI, 1999) e consiste em uma atividade de alto risco na exploração florestal de impacto reduzido (NOGUEIRA et al. 2011), devido o manuseio da motosserra exigir habilidade, conhecimento técnico, experiência prática e condicionamento físico na execução da derruba de árvores. Diante disso a mão-de-obra torna-se um componente essencial para o trabalho florestal, notadamente nas atividades de elevada exigência física, realizadas de forma manual ou semimecanizada, como a atividade de derruba direcionada (SANTANNA e MALINOVSKI, 2002; NOGUEIRA et al. 2011).

A habilidade no uso adequado da motosserra consiste em várias aplicações: corte transversal e longitudinal de segmentos de árvores (toras) em posição horizontal, no chão ou suspensas; corte complementares, como de galhos e raízes; corte longitudinal e transversal de árvores em pé, para a verificação de existência de ocos no fuste e derruba da árvore.

O conhecimento técnico do funcionamento da motosserra, consiste em fator de grande importância, para que o operador possa extrair dela o máximo de desempenho e sua segurança durante o uso, além de otimizar o uso de combustível e o tempo de uso de acessórios e ferramentas, tais como, sabre, corrente e lima. Ao mesmo tempo, também é desejável o conhecimento técnico por parte do operador, das diretrizes de exploração florestal de impacto reduzido, as quais preconizam os procedimentos que devem ser seguidos para uma atividade de derruba eficiente e segura do ponto de vista operacional e ergonômico, bem como da proteção da floresta remanescente.

A experiência prática na atividade de derruba de árvores é um aspecto muito importante. O conhecimento empírico adquirido em várias colheitas faz com que o operador experiente consiga prever o comportamento de árvores em determinadas situações específicas em campo, bem como os comportamentos assumidos por algumas espécies. Um exemplo disso é a aplicação de técnicas de corte, que pode variar de acordo com a tendência de rachaduras e dimensões das raízes (NOGUEIRA et al., 2011), no intuito de reduzir rachaduras de fustes na operação de derruba.

O condicionamento físico do operador é um aspecto muito importante que deve ser considerado. Uma jornada de trabalho com vários deslocamentos entre muitas árvores, contemplando espécies com madeiras das mais variadas densidades, volumes e alturas, juntamente com o transporte da motosserra e seus acessórios, mesmo com o auxílio de um ajudante, consiste em uma atividade que exige muito do operador, tanto físico, quanto para a tomada de decisões, no que diz respeito ao direcionamento de queda da árvore a ser derrubada.

Como parte dos procedimentos operacionais é necessário realizar uma avaliação da direção de queda da árvore e se necessário planejar e executar a alteração da direção da queda natural, com objetivos de garantir a segurança operacional e evitar maiores danos na floresta (AMARAL et al., 1998; SABOGAL et al., 2009). Qualquer erro no direcionamento da queda de uma árvore pode resultar em graves acidentes ao operador ou aos integrantes da equipe de corte (SANT'ANNA, 2014), além de danos às árvores remanescentes e na possibilidade de alteração no planejamento de derruba de outras árvores que estejam nas proximidades.

A derruba direcionada tem como princípio básico considerar a tendência de queda natural (NOGUEIRA et al., 2011). Toda árvore tem uma direção de queda natural, que depende do seu centro de gravidade, determinado pela distribuição do peso da copa, que indiretamente é reflexo adicional da variável inclinação do fuste, da

posição dela em relação às outras, sendo considerada um dos principais itens no planejamento do corte florestal (SANT'ANNA, 2014). Segundo D'Oliveira e Braz (1995) a direção da queda natural da árvore é condicionada à forma, distribuição e o peso da copa.

A amplitude de alterar o direcionamento de queda de uma árvore está entre 10 e 45 graus em relação a sua queda natural (d'OLIVEIRA e BRAZ, 1995; NOGUEIRA et al., 2011). A direção final da árvore após a queda, ao tocar o chão é denominada direção de queda efetiva. As direções de queda natural, planejada e efetiva possibilitam uma melhor análise da habilidade da equipe de corte sobre a derruba direcionada (NAGHDI et al., 2016).

Danos resultantes da exploração de árvores sempre existirão, mas existem métodos para reduzi-los (NIKOOY et al., 2013) e conforme Whitmore e Burnham (1984), a quantidade de danos depende mais de como as árvores são derrubadas que do volume de árvores removido. O planejamento da direção da queda também afeta as etapas posteriores à derruba, como a atividade de arraste de toras, especialmente quando há árvores de grandes dimensões (NIKOOY et al., 2013), o que pode implicar em uma maior e ou menor taxa de produção de árvores arrastadas (NIKOOY et al., 2013).

A derruba direcionada consiste em derrubar a árvore em direção pré-determinada, para não danificar árvores próximas, facilitando a sua retirada, ao mesmo tempo que evita danos em outras árvores derrubadas (PINARD et al., 1995; CEDERGREN et al., 2002). A maioria dos estudos envolvendo derruba direcionada são de carácter genérico, concentrados na difusão de tecnologia da exploração florestal de impacto reduzido (DYKSTRA e HEINRICH, 1996; BRAZ e d'OLIVEIRA, 1997; SABAGOAL et al., 2009; NOGUEIRA et al., 2011).

No Brasil as pesquisas que abordaram a derruba direcionada foram realizadas em plantios florestais, limitando-se a observar o rendimento econômico na atividade de derruba (SANTOS et al., 2000) ou para demonstrar as técnicas mais eficientes na execução da atividade de corte pelos operadores de motosserra (FIEDLER et al., 2000; LOPES et al., 2001).

Outras pesquisas, mesmo sendo conduzidas em florestas nativas, também se concentraram em analisar o rendimento dos equipamentos e a parte econômica envolvida no processo (MINETTI et al., 2000; BEHJOU, 2012; BEHJOU et al., 2009)

ou considerando os aspectos ergonômicos do uso da motosserra na derruba direcionada (RÊGO et al., 2017).

No entanto, poucas pesquisas foram realizadas no sentido de observar quais variáveis interferem na derruba direcionada, dos aspectos relacionados à sua execução. Espera-se que a obtenção dessas informações, haja uma melhoria no entendimento da derruba direcionada, o qual irá subsidiar a elaboração de critérios e procedimentos que evitem danos em árvores remanescentes ou rachaduras nas árvores derrubadas.

Embora, questionada a validade e viabilidade da derruba direcionada como estratégia para a preservação da floresta remanescente (CEDERGREN et al., 2002; JONKERS, 2000). Apesar de tecnicamente viável, a derruba direcionada apresenta limitações, devido a distribuição espacial aleatória das árvores na floresta, a pouca visibilidade das copas muito altas e de árvores com queda natural pouco definidas (JONKERS et al., 2000). Além das limitações com relação a experiência, habilidade e técnica aplicada pelo motosserrista (NIKOOY et al., 2013).

Aspectos mais específicos que podem interferir na qualidade da derruba direcionada, tais como os ângulos de direcionamento de queda das árvores (CEDERGREN et al., 2002; KRUEGER, 2004), os tempos utilizados nos procedimentos (LORTZ et al., 1997; CÂMPU e CIUBOTARU, 2017; ACOSTA et al., 2018) e as variáveis dendrométricas (KOGER, 1983; JOURGHOLAMI et al., 2013). Identificar os componentes mais importantes de uma derruba direcionada pode ajudar na execução da operação fazendo com ela seja precisa, segura e controlada (NAGHDI, et al., 2016).

Nesse contexto a aplicação de técnicas de análises multivariadas, como a análise de componentes principais torna-se adequada. Principalmente quando o pesquisador pretende reduzir a quantidade de dados originais em um conjunto menor, de forma a reproduzir parte da variabilidade em menos combinações lineares (ABDI e WILLIAMS, 2010; SANTOS et al., 2019).

Avaliar mais de uma variável ao mesmo tempo e ordenar as unidades amostrais em um hiperespaço n-dimensional, por meio de um algoritmo matemático que reduz a dimensionalidade dos dados, preservando grande parte da variabilidade por meio da identificação de direções (componentes principais), ao longo das quais a variação dos dados é maior (RINGNÉR, 2008; SCHIRMER et al., 2017).

Para esse intento, a pressuposição de normalidade não consiste em uma exigência para a realização de uma análise de componentes principais (SANTOS et al., 2019). Um aspecto comum presente nas técnicas que se utilizam de análises exploratórias de dados é a aplicação de métodos não paramétricos, os quais são menos rigorosos, tanto em suas suposições, quanto em termos de amostragem e propriedades estatísticas (KENT, 2012).

Nesse contexto a análise de componentes principais visa estabelecer uma relação entre as variáveis e as espécies envolvidas na derruba direcionada, de maneira a selecionar àquelas que melhor explicam a variância total dos dados. Embora testes estatísticos rigorosos e confirmações sejam importantes, vários autores deixam claro que uma grande parte da análise de dados é de abordagem exploratória e consiste principalmente na busca de ordem e padrões nos dados (KENT, 2012).

O presente estudo pretende identificar quais as variável ou conjunto de variáveis estão mais correlacionados com a derruba direcionada.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Características gerais da área de pesquisa**

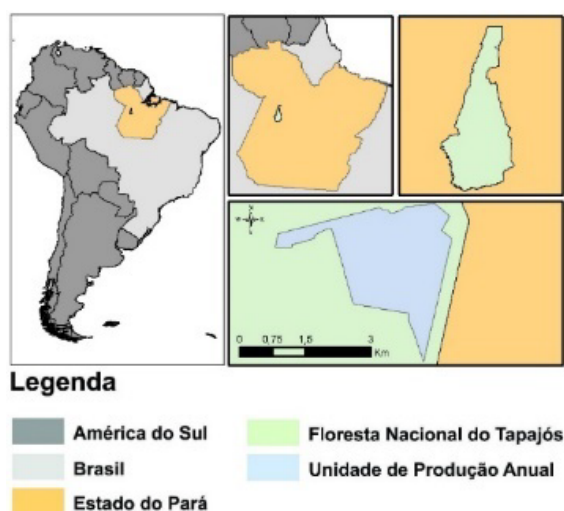
A área de pesquisa se localiza na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós), município de Belterra, Pará, entre as coordenadas 2° 40' - 4° 10' de Latitude Sul e 54° 45' - 55° 30' de Longitude Oeste (Fig. 1). Limita-se a oeste com o Rio Tapajós; a Leste com a rodovia Cuiabá - Santarém; ao norte com o marco 50 (cinquenta) da rodovia Cuiabá-Santarém e ao sul com a margem direita do rio Tapajós; rio Cupari e seu afluente Santa Cruz, até a rodovia Cuiabá – Santarém (BRASIL, 1974; CARVALHO, 2001; OLIVEIRA et al. 2005).

Inserida na região do baixo Amazonas, apresenta no lado Oeste, solos do tipo Neossolos Quartzarênicos e no planalto, Latossolos Amarelos (PARROTA et al. 1995), sob florestas do tipo ombrófila densa (IBGE, 2012), as quais compreendem aproximadamente um terço da área total da Floresta Nacional do Tapajós (PARROTA et al. 1995).

A extensão territorial da Flona Tapajós é de aproximadamente 530.000 hectares (ANDRADE et al. 2019), abrangendo os municípios de Aveiro, Belterra, Placas e Rurópolis. O clima regional é classificado como do tipo Am, equatorial de monção (KOTTEK et al. 2006).



De acordo com ICMbio (2019), a área da Flona Tapajós apresenta uma temperatura média anual máxima de 34,5° C e média anual mínima de 15,9° C, com precipitação média anual de 1.892 mm, inserida no domínio geológico de sequências sedimentares consolidadas (arenitos, siltitos, argilitos, conglomerados) do paleozoico e mesozoico de grandes bacias sedimentares, apresentando relevo suave, com baixa amplitude altimétrica com solos do tipo Latossolo Amarelo predominando em 40% de sua extensão territorial.



**Fig. 1.** Localização da área de estudo da FLONA do Tapajós, Belterra, Pará, Brasil: detalhes da UPA 13 (504,30 ha) da Área de Manejo Florestal, Samambaia. Fonte: elaborado pelo autor.

## 2.2 Coleta de dados

### 2.2.1 Local e período de coleta

Em área de 504,30 ha da UPA-13 (AMF - Samambaia) foram selecionadas 2.102 árvores com DAP (diâmetro à 1,30 m do solo)  $\geq 50$  cm gerando uma intensidade de exploração média de 28,80 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Deste quantitativo 1.075 árvores (51%) foram avaliadas as variáveis e procedimentos associadas a derruba direcionada.

A atividade de coleta de dados foi realizada no período de atividades de exploração florestal, entre os meses de junho a setembro de 2019. O acesso à área é realizado pelo km 72 da BR 163 (Santarém/Cuiabá), na margem esquerda do sentido norte/sul.

### 2.2.2 Obtenção de dados

Por meio das planilhas do inventário florestal censitário pré-exploratório contidos no Plano Operacional Anual nº 13 - safra 2018 (COOMFLONA, 2018), foram obtidos os nomes vernacular e científico da árvore, circunferência à altura do peito (CAP), altura comercial e calculadas a área transversal, volume do fuste e volume de galhos, descritos a seguir:

A CAP foi medida em centímetros, admitindo-se a altura de 1,30 m com relação ao nível do solo. Posteriormente, os valores foram convertidos para diâmetro em unidade centimétrica. A variável altura foi estimada considerando até o limite da primeira bifurcação da árvore, que consistiu na altura comercial. A área transversal para cada árvore foi calculada utilizando a fórmula  $g = \pi * DAP^2 / 40.000$ , para posterior somatório dos valores por espécie, adquirindo-se desta maneira os valores de dominância ou área basal. Os volumes dos fustes e das partes aéreas das árvores foram estimados por meio de equações específicas para a área de manejo (COOMFLONA, 2018):

$$(iii) \quad Vc \vee c = exp, e$$

$$(iv) \quad Vrb \vee c = 0,211045768114405 + (0,000630439578435079 * DAP^2) + (-0,00000805819101964133 * DAP^2 * Hc) + (-0,0000204270359331579 * DAP * Hc^2) + (0,00030907024548338 * Hc)$$

onde:  $Vc|c$  = volume com casca em metros cúbicos;  $Vrb|c$  = volume de resíduo bruto com casca em metros cúbicos;  $DAP$  = diâmetro a altura do peito medido em centímetros; e  $Hc$  = altura comercial em metros.

Nove equipes de corte, compostas por um operador de motosserra e um ajudante, cada, aplicaram as técnicas de derruba direcionada. A maioria das árvores ocadas foram descartadas da derruba após o motosserrista aplicar o teste de oco (feita por meio da inserção longitudinal do sabre da motosserra no fuste da árvore). As árvores ocas foram excepcionalmente exploradas quando a relação do oco com a produção de volume comercial fosse compensatória, aliado ao motosserrista verificar a possibilidade da aplicação adequada das técnicas de corte.

As equipes de corte foram capacitadas nas diretrizes técnicas de exploração florestal de impacto reduzido. (DYKSTRA e HEINRICH, 1996; BRAZ e d'OLIVEIRA,

1997; PEREIRA JÚNIOR, 2003; SABAGOAL et al., 2009; NOGUEIRA et al., 2011) considerando os seguintes aspectos:

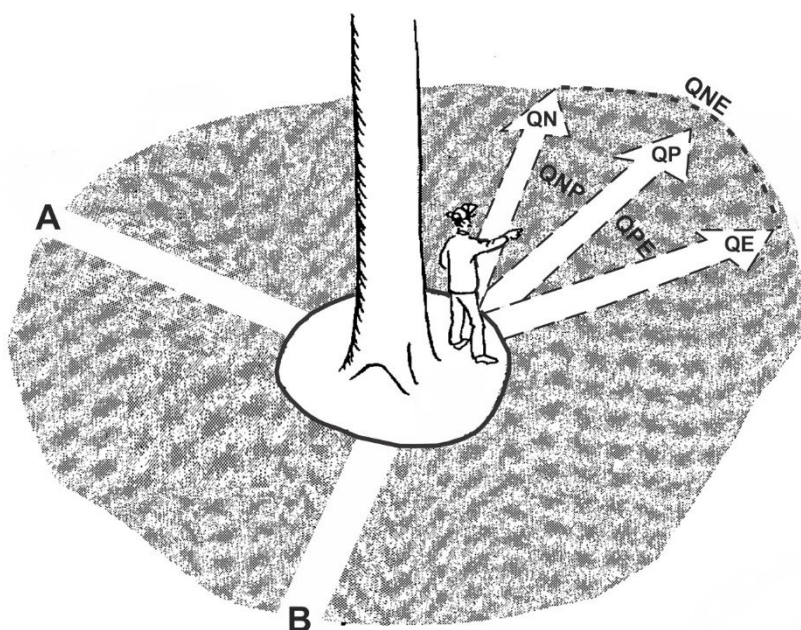
1) Localização da árvore em campo a ser derrubada; 2) confirmação da identificação da árvore por meio da placa do inventário; 3) realização do teste de verificação de ocorrência de oco no fuste; 4) avaliação da direção de queda natural e da direção de queda planejada; 5) extração da placa de identificação da árvore, bem como de seu respectivo prego de fixação; 6) realização da limpeza da base da árvore e do espaço de 1m de raio do fuste; 7) construção de dois caminhos de fuga em ângulo de 45 graus entre si, no sentido oposto à direção da queda planejada; 8) corte direcionada e queda da árvore ; 9) colocação da placa de identificação e de seu respectivo prego de fixação, no toco residual da árvore derrubada; e 10) registro da direção de queda efetiva no mapa de corte-derruba.

A direção de queda natural e a direção de queda planejada foram definidas em campo, por meio da avaliação do operador de motosserra responsável pela atividade de derruba direcionada. Após a derruba da árvore, a direção de queda efetiva foi definida pelo posicionamento do fuste da árvore no chão da floresta. Os ângulos de queda natural, planejada e efetiva, foram determinados considerando como referências a direção do norte magnético e a direção das projeções do fuste da árvore (Fig. 2), da seguinte maneira:

- Direção de queda natural (QN), que considerando a sua inclinação e a distribuição dos galhos da copa. O registro da variável de localização em graus que consistiu entre o norte magnético e a projeção da queda da árvore;

- Direção de queda planejada (QP) consistiu no registro do ângulo em graus entre o norte magnético e a projeção planejada da queda da árvore. No planejamento é considerado a direção de queda natural e a distribuição das árvores vizinhas, de maneira a evitar danos em árvores remanescentes e acidentes operacionais na equipe de derruba, planeja-se a alteração da direção da queda natural; e

- Direção de queda efetiva (QE) consistiu no registro do o ângulo em graus entre o norte magnético e a projeção final do fuste da árvore, caída no chão da floresta.



QN: Queda natural;  
 QP: Queda planejada;  
 QE: Queda efetiva;  
 QNP: QN - QP;  
 QPE: QP - QE;  
 QNE: QN - QE; e  
 A e B: Rotas de fuga.

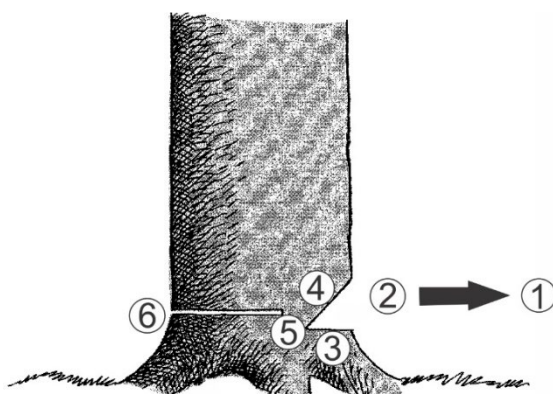
Adaptado de Been et al., (1980).

**Fig. 2.** Método de planejamento de derruba direcionada.

O corte aplicado nas árvores seguiu em geral os seguintes procedimentos:

- Aplicação do corte 0 grau, que consiste em um corte transversal abrangendo 1/3 do diâmetro do fuste da árvore, a uma altura máxima de 40 cm do solo, seguido do corte de 45 graus. A junção do corte 0 grau com o corte 45 graus formam o entalhe direcionada. No lado oposto deste entalhe, a uma altura entre 8 cm e 15 cm acima do corte 0 grau, é realizado o corte de abate nos 2/3 restantes da secção transversal do fuste. Na execução do corte de abate, são deixados vários filetes de madeira para a sustentação, os quais, após serem cortados, finalizam o procedimento de direcionamento de queda da árvore para o local desejado (Fig. 3).

Os motosserristas se utilizaram de cunhas de metal para auxiliar no direcionamento de queda da árvore, quando necessário. A atividade de derruba considerou que todos os cipós que pudessem restringir a queda das árvores haviam sido cortados, procedimento realizado um ano antes da derruba.



- 1 - Direção de queda planejada;
- 2 - Entalhe direcional (“boca”);
- 3 - Corte 0 grau;
- 4 - Corte 45 graus;
- 5 - Dobradiça; e
- 6 - Corte de abate.

Adaptado de Been et al., (1980).

**Fig. 3.** Método padrão de corte direcional.

Foram obtidos os tempos de planejamento, corte e derruba de cada árvore derrubada, bem como os seus ângulos de direção de queda natural, queda planejada e queda efetiva, da seguinte maneira:

- Tempo de planejamento: abrangeu a realização de todas as atividades que antecederam ao início do corte da árvore: avaliação da direção da queda planejada, limpeza da base do fuste, retirada da casca para algumas espécies, cumpinzeiro, vegetação arbustivas, cipós e preparo das picadas de fuga, abastecimento da motosserra com óleo lubrificante e gasolina e quando necessário ajustes na motosserra, sabre e corrente, assim com também afiar a corrente. Variável mensurado o tempo expresso em minutos;

- Tempo de corte: abrangeu o início da aplicação do corte da árvore até o momento de sua queda; expresso em minutos; e

- Tempo de derruba: considerou o somatório do tempo de planejamento e do tempo de corte, expresso em minutos.

Os períodos de tempo registrados consideraram todos os eventos ocorridos, incluindo pausas para observações, ajustes de equipamentos, utilização de ferramentas, hidratação e eventuais descansos.

Após a queda de cada árvore, foi contabilizado o número de árvores com DAP (diâmetro à altura de 1,30m do solo)  $\geq 10$  cm que foram diretamente danificadas pela derruba direcionada.

A densidade da madeira das espécies analisadas foi determinada de acordo com o descrito por Carneiro et al., (2020).

### 2.3 Métodos de análise estatística

Foi aplicado o teste de normalidade dos dados através do teste de Kolmogorov-smirnov ( $\alpha = 0,05$ ) e para a realização das demais análises, os dados foram organizados utilizando os valores médios das variáveis por espécie.

Foram calculadas as diferenças absolutas entre os ângulos de queda natural e planejada, queda planejada e efetiva; e de queda natural e efetiva de forma a visualizar a variação angular ocorrida entre os procedimentos de derruba direcionada. Valores de diferenças próximos a 0 grau indicam maiores acertos e valores próximos de 180 graus indicam maiores erros no direcionamento de queda de uma árvore.

Para facilitar a interpretação, os valores foram convertidos em escala percentual, onde uma diferença de 180 graus representa 0% de acerto e uma diferença de 0 grau representa 100% de acerto. De maneira que quanto maior for o percentual de diferença angular (QNP%, QPE% e QNE%) menor será a diferença entre as direções de queda consideradas na derruba direcionada.

Por meio de diagramas de caixa foi realizada a distribuição dos valores das variáveis entre as espécies analisadas, utilizando os parâmetros de média, mediana, quartis, assimetria e curtose.

Diante do número de variáveis envolvidas na derruba direcionada, a análise de componentes principais foi aplicada, de maneira a detectar possíveis relações existentes entre variáveis e espécies.

Para a aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) as escalas entre as variáveis foram padronizadas ( $\mu = 0$ ,  $\sigma = 1$ ) utilizando as médias das variáveis por espécie.

O critério de seleção dos componentes principais foi baseado naqueles que apresentaram autovalores acima de 1,00 (KAISER, 1958) e que concentraram mais de 60% da variância acumulada.

Os autovalores medem a quantidade de variação retida em cada dimensão dos componentes principais (KASSAMBARA, 2017), que é expressa como uma proporção do autovalor sobre o número de variáveis na análise (KENT, 2012). Onde os primeiros componentes ou dimensões correspondem à maior porcentagem da variabilidade presente nos dados (BERNARDI et al., 2009) e os demais componentes são responsáveis por direções que não estão associadas a muita variabilidade (HONGYU et al. 2015), consideradas muitas vezes como “ruídos” na análise. Autovalores com

sinais positivos denotam uma correlação direta e os de sinais negativos significam uma correlação inversa (SCHIRMER et al., 2017).

Os autovetores correspondem ao carregamento das variáveis originais, que funcionam como uma medida da importância de cada variável em relação às dimensões dos componentes principais e indicam suas relações, se direta ou inversamente proporcionais, positivos ou negativos, respectivamente (BERNARDI et al., 2009). Cada variável pode ser comparada a um vetor, onde o coeficiente de correlação pode ser expresso em valores de cosseno, variando entre -1,0 a +1,0, apresentando propriedades de direção, sentido e comprimento, sendo este último, diretamente relacionado a sua variância, o que torna possível a sua representação geométrica (KENT, 2012).

Para a confirmação do comportamento dos dados foi realizada a análise de correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ), adotando a interpretação sugerida por Dancey e Reidy (2019), onde valores iguais a 0,0, representam ausência de correlação; valores entre 0,10-0,39 representam uma correlação fraca; valores entre 0,40-0,69 apresentam correlação moderada; valores entre 0,70-0,99 representam correlação forte e valores iguais a 1,0 apresentam correlação perfeita.

Após a interpretação das correlações, estabeleceu-se classificar como significativas todas as variáveis que apresentassem correlações superiores a 0,7. Correlações significativas do conjunto de variáveis indicam adequação da amostra para PCA, caso as correlações forem baixas, recomenda-se um tamanho de amostra maior (SANTOS et al., 2019)

Foi utilizado gráfico do tipo biplot para visualizar a distribuição das variáveis e observações, respectivamente. Este gráfico apresenta duas dimensões, onde os vetores representam as variáveis e os pontos representam as observações ou amostras.

Os vetores mais bem representados são os mais próximos do raio de tamanho 1 (correlação máxima) (SANTOS et al., 2019). Quanto mais próxima uma variável está do círculo de correlações, melhor pode-se reconstruir esta variável a partir dos dois primeiros componentes, pois quanto mais próximo da origem dos eixos, menos importante é a variável para os dois primeiros componentes (ABDI e WILLIAMS, 2010). A direção do vetor indica para onde a variável aumenta, o comprimento indica a taxa de mudança nessa direção. Assim, um vetor longo indica uma taxa de mudança

gradual, enquanto um vetor curto representa uma taxa de mudança mais rápida (KENT, 2012).

Para a interpretação gráfica foram considerados os seguintes pressupostos: (i) o componente principal 1 (CP1 ou Dim.1) foi representado no eixo da abcissa, enquanto o componente 2 (CP2 ou Dim.2) foi representado no eixo das ordenadas. Assim, as comparações com o CP1 foram feitas horizontalmente, enquanto as comparações com o CP2 foram feitas verticalmente (TEIXEIRA et al., 2012).

A Dim.1 geralmente consegue explicar a mais alta porcentagem da variância total dos dados, seguida da Dim.2 (FRAGA et al., 2015). Os demais componentes não foram considerados, uma vez que não acrescentam informação relevante (TOBAR-TOSSE et al., 2015). Na maioria dos estudos, usam-se apenas os dois primeiros eixos, considerados suficientes para explicar os dados e pela facilidade de interpretação de um gráfico em duas dimensões (GOMES et al., 2004).

A ACP realizada utilizando os pacotes estatísticos FactoExtra (KASSAMBARA, 2017) e FactorMiner (LÊ et al., 2008), ambos pertencentes ao programa estatístico R versão 4.0.4. (R CoreTeam, 2021) e RStudio versão 1.3.1093 como ambiente de desenvolvimento.

### 3. RESULTADOS

O universo amostral para as análises da derruba direcionada foi de 1.075 árvores representadas por 17 espécies (Tabela 1). Quatro espécies concentraram com 56,9% do número de árvores amostradas, tais sejam: tauari (221), maçaranduba (167), jarana (119) e jatobá (105). As árvores derrubadas apresentaram diâmetro variando de 50,61 cm a 197,35 cm, a metade das árvores apresentou valores de DAP  $\leq 76$ . Das árvores derrubadas 75% encontraram-se na faixa de altura comercial entre 7 m e 26 m (Tabela 2), como as espécies tauari (24,9 m), jatobá (28,71 m) e muiracatiara (29,02 m) apresentando as maiores médias de altura comercial. A mediana do volume de fustes e galhos das árvores foi de 5,44 m<sup>3</sup> e 3,07m<sup>3</sup>, respectivamente.

Todas as variáveis analisadas apresentaram valores de assimetria e curtose diferentes de zero, evidenciando falta de normalidade nas distribuições (Tabela 2). O padrão da distribuição dos dados foi verificado através do teste de Kolmogorov-smirnov ( $\alpha = 0,05$ ), o qual rejeitou hipótese de normalidade.



Os valores de densidade básica da madeira variaram entre 0,48 g/cm<sup>3</sup> (quarubarana) e 0,91 g/cm<sup>3</sup> (cumarú) dentre as espécies derrubadas e avaliadas no presente estudo. As medianas de tempo de planejamento e tempo de corte foram de seis minutos, cada. Enquanto que a mediana do tempo de derruba foi de 13 minutos. Os tempos de planejamento e corte obtiveram valores de até nove minutos para 75% das árvores derrubadas. O mesmo ocorreu para o tempo total de derruba direcionada, que apresentou tempos de até 18 minutos.

A variável danos apresentou uma mediana de duas árvores por derruba. As espécies angelim pedra (AngePedra), quaruba (Quaru) e sapucaia (Sapu), apresentaram mediana de 3 árvores danificadas por derruba, respectivamente. Enquanto as espécies garapeira (Garap), jarana (Jara) e mandioqueira rosa (ManRosa) apresentaram medianas de uma árvore danificada por derruba.

Considerando o comportamento das variáveis QPE%, QNP%, QNE% entre as espécies, todas apresentaram medianas com valores superiores a 80% de coincidência entre os ângulos (Fig. 4).

O tempo de planejamento e o tempo de corte, apresentaram medianas inferiores a 15 minutos, com uma mediana de tempo total alcançando até 25 minutos.

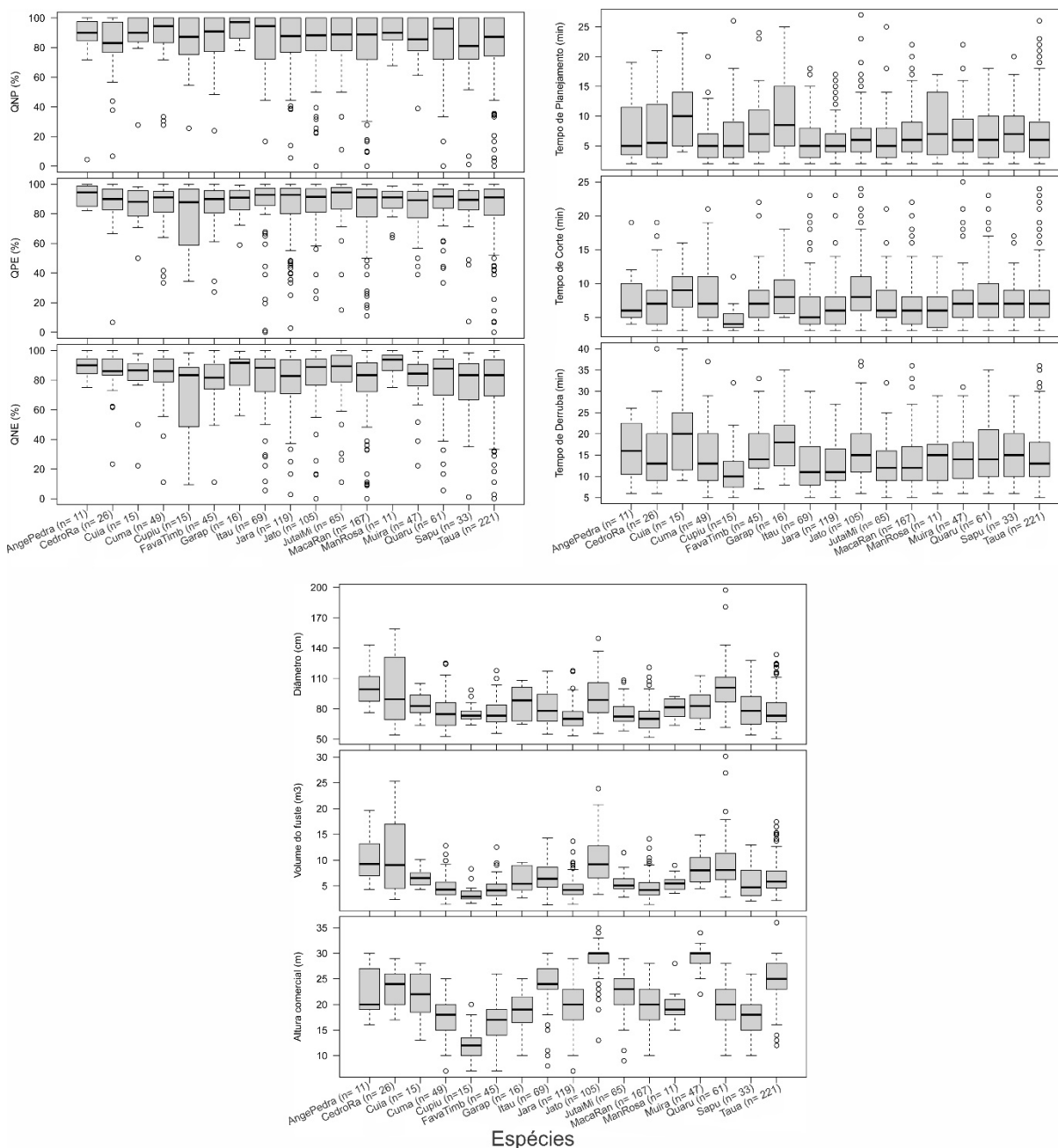
**Tabela 1**

Valores médios das variáveis por espécie observadas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Código Espécie	n. arv.	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Planejamento (min)	Corte (min)	Derruba (min)	QNP (%)	QPE (%)	QNE (%)	Danos (n°ind.)	DAP (cm)	Altura (m)	VolArv. (m <sup>3</sup> )	Basal (m <sup>2</sup> )	VolGal (m <sup>3</sup> )
AngePedra	11	0,59	8,09	8,00	16,09	83,03	92,72	89,44	2,64	102,58	22,64	10,27	0,86	6,00
CedroRa	26	0,49	7,69	7,77	15,46	79,72	85,86	84,17	2,00	99,82	23,31	10,81	0,87	5,99
Cuia	15	0,80	10,27	8,80	19,07	87,33	85,05	80,67	2,13	83,65	21,73	6,50	0,56	3,89
Cuma	49	0,91	5,96	8,86	14,82	88,06	85,42	83,62	1,92	77,52	17,37	4,94	0,49	3,67
Cupiu	15	0,71	7,33	4,73	12,07	83,19	74,27	68,59	1,93	75,97	12,33	3,60	0,46	3,64
FavaTimb	45	0,69	8,09	7,69	15,78	85,72	85,80	80,32	2,14	76,37	16,71	4,61	0,47	3,54
Garap	16	0,75	10,25	8,69	18,94	93,54	87,50	85,83	1,38	86,14	18,50	6,20	0,60	4,42
Itau	69	0,70	6,17	7,17	13,35	85,10	83,95	79,86	1,53	80,93	23,67	6,82	0,53	3,53
Jara	119	0,85	6,26	6,71	12,97	82,99	85,07	78,73	1,51	71,30	19,18	4,48	0,41	2,93
Jato	105	0,76	7,03	9,46	16,49	82,97	86,41	82,39	1,82	90,75	28,71	9,91	0,68	4,08
JutaiMi	65	0,90	6,22	6,97	13,18	84,37	87,56	84,60	1,91	75,65	22,60	5,60	0,46	3,09
MacaRan	167	0,87	7,06	6,75	13,81	81,78	82,84	77,65	1,84	71,30	19,63	4,60	0,41	2,93
ManRosa	11	0,54	8,36	6,36	14,73	90,40	86,97	91,01	1,91	80,04	19,64	5,61	0,51	3,67
Muira	47	0,79	6,91	8,23	15,15	84,82	84,10	80,33	2,04	82,30	29,02	8,17	0,55	3,18
Quaru	61	0,48	7,38	8,16	15,54	82,81	86,41	79,35	2,68	101,43	19,66	9,14	0,86	6,25
Sapu	33	0,84	7,61	7,55	15,15	79,11	84,30	77,02	2,24	81,13	17,73	5,57	0,54	3,99
Taua	221	0,52	6,90	7,70	14,60	81,73	84,63	76,51	1,86	78,38	24,89	6,69	0,50	3,23
Média	63,23	0,72	6,98	7,61	14,59	83,27	84,92	79,59	1,88	80,08	22,15	6,45	0,53	3,60
Total	1075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

AngePedra: angelim pedra (*Hymenobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cuia: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumaru (*Dipteryx odorata*), Cupiu: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itau: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaiMi: jutai mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRan: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecontei*), Quaru: quaruba (*Erismia uncinatum*), Sapu: sapucaia (*Lecythis pisonis*), Taua: tauari (*Couratari guianensis*), n.arv.: Número de árvores, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em

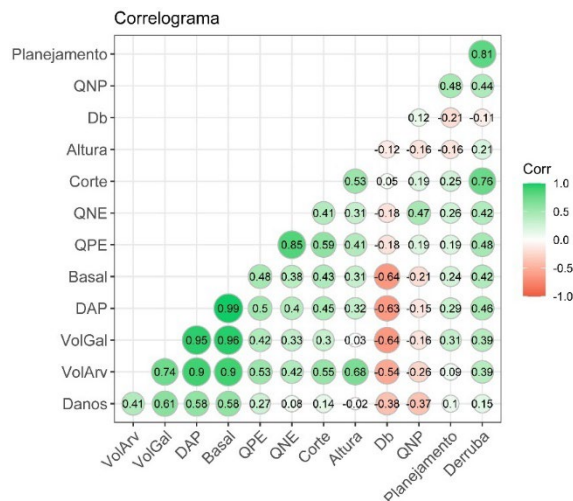
percentagem, QNE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Danos (n°ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal(m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.



**Fig. 4.** Distribuição das variáveis por espécie envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em percentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, e; abreviação das espécies, AngePedra: angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cuia: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumarú (*Dipteryx odorata*), Cupiú: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itau: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaiMi: jutai mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRan: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecointei*), Quaru: Quaruba (*Erismia uncinatum*), Sapu: sapucaia (*Lecythis pisonis*), Taua: tauari (*Couratari guianensis*).

De todas as variáveis envolvidas na derruba direcionada, a variável Densidade básica (Db) foi a que apresentou o menor valor de correlação (Fig. 5).



**Fig. 5.** Análise de correção de Pearson ( $\alpha \leq 0,05$ ) das variáveis envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em porcentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Altura (m): Altura comercial expresso em metros,

## Tabela 2

Estatística descritiva das variáveis envolvidas na derruba direcionada de árvores na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Variáveis	n	Média	Mínimo	1ºQuartil	Mediana	3ºQuartil	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Db (g/cm <sup>3</sup> )	1075	0,72	0,48	0,52	0,76	0,87	0,91	0,43	-0,43	-1,41
Planejamento (min)	1075	6,98	2,00	3,00	6,00	9,00	27,00	25,00	1,29	1,53
Corte (min)	1075	7,61	3,00	5,00	6,00	9,00	25,00	22,00	1,55	2,37
Derruba (min)	1075	14,60	5,00	9,00	13,00	18,00	40,00	35,00	0,95	0,57
QNP (%)	1059	83,27	0,00	76,11	88,89	100,00	100,00	100,00	-1,80	3,60
QPE (%)	996	84,92	0,00	80,56	91,67	96,67	100,00	100,00	-2,18	5,04
QNE (%)	1059	79,59	0,00	73,89	85,00	94,44	100,00	100,00	-1,77	3,15
Danos (nº de ind.)	1063	1,89	0,00	0,00	2,00	3,00	9,00	9,00	0,69	0,35
DAP (cm)	1075	80,08	50,61	66,85	76,08	89,13	197,35	146,74	1,35	3,06
Altura (m)	1075	22,15	7,00	19,00	23,00	26,00	36,00	29,00	-0,31	-0,50
VolArv (m <sup>3</sup> )	1075	6,45	1,35	4,04	5,44	7,92	30,14	28,79	1,81	4,97
Basal (m <sup>2</sup> )	1075	0,53	0,20	0,35	0,45	0,62	3,06	2,86	2,53	12,17
VolGal (m <sup>3</sup> )	1075	3,60	1,05	2,33	3,07	4,27	23,61	22,56	2,88	16,38

Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em porcentagem, QPE (%) : Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em porcentagem, Danos (nº ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal(m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

Nas análises das variáveis aplicando as estatísticas de componentes principais foram formadas 13 dimensões (componentes) das quais, quatro reuniram 86,28% da

variância dos dados, embora apenas as duas primeiras dimensões reuniram 65,37% (Tabela 3).

**Tabela 3**

Varição e proporção dos autovalores nas dimensões utilizadas para a formação dos componentes principais. Fonte: elaborado pelo autor.

Dimensão	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada (%)
Dim.1	5,916106E+00	4,550851E+01	45,50851
Dim.2	2,582603E+00	1,986618E+01	65,37468
Dim.3	1,714391E+00	1,318762E+01	78,56231
Dim.4	1,003370E+00	7,718228E+00	86,28054
Dim.5	7,931747E-01	6,101344E+00	92,38188
Dim.6	4,298263E-01	3,306356E+00	95,68824
Dim.7	2,819414E-01	2,168780E+00	97,85702
Dim.8	2,171935E-01	1,670720E+00	99,52774
Dim.9	5,574702E-02	4,288233E-01	99,95656
Dim.10	3,710315E-03	2,854089E-02	99,98510
Dim.11	1,775584E-03	1,365834E-02	99,99876
Dim.12	1,605888E-04	1,235298E-03	99,99999
Dim.13	8,512454E-07	6,548041E-06	100,00000

Dim.: Dimensões presentes nos componentes principais.

Com base em suas correlações todas as variáveis foram consideradas significativas, exceto a variável Altura (Tabela 4 e Tabela 5).

**Tabela 4**

Valores das correlações/coordenadas das variáveis encontradas nas dimensões dos componentes principais. Fonte: elaborado pelo autor.

Variáveis	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4
Db	-0,5760521	0,3905703	0,3052262	0,2741640
Planejamento	0,3884945	0,5216313	-0,6326676	0,2348286
Corte	0,6297079	0,4503300	0,3474362	0,4028270
Derruba	0,6363357	0,6176027	-0,2133728	0,3976256
QNP	-0,0094782	0,8348518	-0,2743767	-0,2610988
QPE	0,7032070	0,3592726	0,2917482	-0,3533211
QNE	0,5896531	0,4994523	0,1698037	-0,5700969
Danos	0,5377906	-0,4503199	-0,2308387	0,0616097
DAP	0,9457188	-0,2431977	-0,1024269	0,0173193
Altura	0,4398519	0,0512934	0,7794778	0,1483198
VolArv	0,8985885	-0,2273666	0,2925007	0,0744219
Basal	0,9314890	-0,2966728	-0,0870262	0,0078690
VolGal	0,8587202	-0,3065087	-0,3177944	-0,0544956

**Tabela 5**

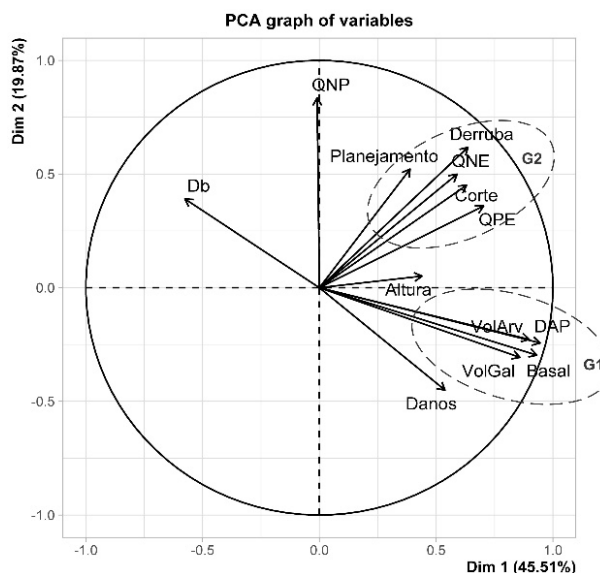
Variáveis mais significativamente associadas com um determinado componente principal. Fonte: elaborado pelo autor.

Dim.	Variáveis	Correlação	p.value
1	DAP	0,9457188	1,013670E-08
	Basal	0,9314890	5,572577E-08
	VolArv	0,8985885	9,573546E-07
	VolGal	0,8587202	1,020477E-05
	QPE	0,7032070	1,637501E-03
	Derruba	0,6363357	6,027524E-03
	Corte	0,6297079	6,750034E-03
	QNE	0,5896531	1,273058E-02
	Danos	0,5377906	2,597124E-02
	Db	-0,5760521	1,551591E-02
2	QNP	0,8348518	3,058955E-05
	Derruba	0,6176027	8,248270E-03
	Planejamento	0,5216313	3,174940E-02
	QNE	0,4994523	4,122614E-02

Dim.: Dimensões dos componentes principais, Db (g/cm<sup>3</sup>): Densidade básica da madeira expresso em g/cm<sup>3</sup>, Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em percentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Danos (n°ind.): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv.(m<sup>3</sup>): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal(m<sup>2</sup>): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal(m<sup>3</sup>): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos; Correlação: valores de correlação de Pearson.

A Análise de Componentes Principais evidenciou a formação de dois grupos de variáveis (G1 e G2). O G1 constituiu-se por variáveis do tipo dendrométricas como o diâmetro (DAP), área basal (Basal), volume da árvore (VolArv), volume dos galhos

(VolGal). Essas variáveis apresentaram um valor de correlação superior a 0,8 com os componentes principais (Tabela 4) e por estarem próximas, evidenciaram uma maior correlação entre si (Fig. 6).



**Fig. 6.** Gráfico biplot com as projeções das variáveis no eixo dos componentes principais. Fonte: elaborado pelo autor.

Dim.: Dimensões dos componentes principais, Db ( $\text{g/cm}^3$ ): Densidade básica da madeira expresso em  $\text{g/cm}^3$ , Planejamento (min): Tempo de planejamento da operação de derruba expresso em minutos, Corte (min): Tempo de corte da operação de derruba expresso em minutos, Derruba(min): tempo total da operação de derruba expresso em minutos, QNP(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Planejada expresso em percentagem, QPE (%): Diferença angular entre a direção de Queda Planejada e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, QNE(%): Diferença angular entre a direção de Queda Natural e a direção de Queda Efetiva expresso em percentagem, Danos ( $n^\circ\text{ind.}$ ): Número de árvores danificadas após a operação de derruba, DAP (cm): Diâmetro a altura do peito expresso em centímetros, Altura (m): Altura comercial expresso em metros, VolArv( $\text{m}^3$ ): Volume do fuste expresso em metros cúbicos, Basal( $\text{m}^2$ ): Área basal expresso em metros quadrados, VolGal( $\text{m}^3$ ): Volume dos galhos expresso em metros cúbicos.

O G2 é formado basicamente pelas variáveis geradas pela atividade de derruba direcionada, tais como o tempo de planejamento de derruba (Planejamento), tempo de corte (Corte), tempo de derruba (Derruba), percentual de aproximação entre os ângulos de direção de queda natural e queda efetiva QNE%, direção de queda planejada e queda efetiva QPE%. Dentre estas, a variável QPE% apresentou um valor de 0,7. A variável tempo de derruba (Derruba) apresentou um valor de correlação de 0,63 e 0,61, nas Dim.1 e Dim.2 dos componentes principais (Tabela 4.), respectivamente. O que justifica o maior comprimento do vetor desta variável em relação aos demais vetores neste grupo (Fig. 6).

As variáveis danos nas árvores (Danos), altura comercial (Altura), percentual de aproximação entre os ângulos de direção de queda natural e planejada (QNP%) e densidade da madeira (Db), não apresentaram relação direta com os grupos formados, pois se apresentaram de maneira isolada (Fig. 6).

A variável Altura apresentou valores de correlação de 0,43 e 0,05 nas Dim.1 e Dim.2, respectivamente (Tabela 4) e se encontrou posicionada entre os grupos G1 e G2 (Fig. 6).

De maneira geral a variável QNP% está distante dos grupos de variáveis G1 e G2, bem como das variáveis Db e Danos (Fig. 6). Na Dim.2 a variável QNP% apresentou uma correlação de 0,83, reforçando uma correlação inversamente proporcional com os grupos G1 e G2.

A variável Densidade básica da madeira (Db) apresentou uma correlação de -0,57 na Dim.1. e de 0,39 na Dim.2. Isso pode ser observado pela posição da variável Db em uma posição oposta ao das variáveis dos grupos G1 e G2. Fazendo com que a variável Db seja inversamente proporcional às variáveis desses dois grupos. Sendo esse comportamento ainda mais perceptível em relação à variável Danos.

A variável Danos apresenta uma correlação de 0,53 e -0,45, nas Dim.1 e Dim.2, respectivamente, o que lhe garante uma relação inversamente proporcional às variáveis QNP% e Db. Comportamento oposto ocorre em relação às variáveis dendrométricas contidas no G1, devido a variável Danos estar posicionada no mesmo quadrante das variáveis dendrométricas, evidenciando uma correlação maior e no mesmo sentido, ou seja, existe uma covariação com a variáveis destes grupos.

QNE% se correlaciona de maneira intermediária entre QNP% e QPE%, porém com maior correlação com QPE%. Isso tende a ocorrer quando a direção de queda natural é a única opção de direcionamento para a derruba de uma árvore.

QPE% está mais correlacionada com o primeiro componente principal e por conseguinte, com as variáveis dendrométricas, apresentando uma correlação diretamente proporcional. Quanto maior for a dimensão de uma árvore, melhor será para o motosserrista efetivar a direção de queda planejada, mesmo que esta seja na direção de queda natural.

Tempo de Planejamento (Planejamento), corte (Corte) e derruba (Derruba), apresentaram valores de correlação de 0,38; 0,62; e 0,63, respectivamente na Dim.1. e na Dim.2 os valores de correlação foram de 0,52; 0,45; e 0,61, respectivamente.

O tempo de corte se correlacionou mais com a QNE%. O tempo de planejamento apresentou correlação direta com a variável QPE%.

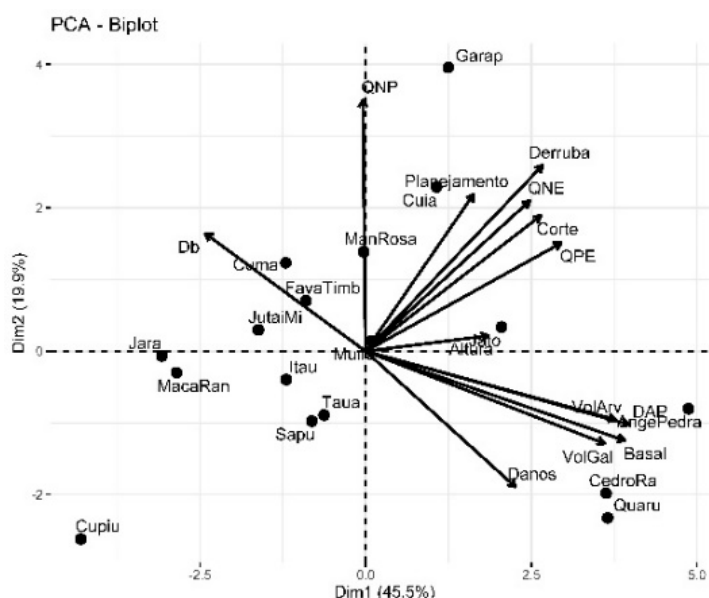
As espécies jatobá, muiracatiara, itaúba, maçaranduba, jutai mirim, jarana, fava timborana, angelim pedra, cedronara, quaruba e cupiúba estão mais correlacionados

com a Dim.1, enquanto as espécies mandioqueira rosa, cuiarana, garapeira, cumaru, sapucaia, tauari estão mais correlacionadas com Dim.2 (Fig.7).

Na Dim.1 a espécie jatobá sofreu influência direta da variável Altura comercial. Enquanto a espécie muiracatiara demonstrou sofrer pouca influência das variáveis analisadas. Pois quanto mais próxima da origem dos eixos dos componentes principais estiver uma amostra, menos influência das variáveis ela terá. Maçaranduba, itaúba, jutaí mirim, jarana e fava timborana foram mais afetadas pela variável Db.

Cedrorana e quaruba sofreram influência direta das variáveis dendrométricas do G1, sendo que as variáveis Diâmetro e Volume do fuste estão mais próximas com a espécie angelim pedra. Cupiúba foi a espécie que apresentou influência inversamente proporcional em relação às variáveis operacionais, demonstrando que é uma espécie que possivelmente apresenta relativa dificuldade para ser derrubada.

Na Dim. 2 as espécies mandioqueira rosa e garapeira sofreram influência direta de QNP% e apesar de estar próxima desta variável, a espécie cuiarana foi mais influenciada pela variável operacional tempo de Planejamento. A espécie cumaru foi mais influenciada pela variável Densidade básica, enquanto as espécies tauari e sapucaia apresentaram o mesmo comportamento da espécie cupiúba, com relação às variáveis operacionais.



**Fig. 7.** Projeções das observações (espécies) e variáveis nos eixos de componentes principais. Fonte: elaborado pelo autor.

AngePedra: angelim pedra (*Hymenobium petraeum*), CedroRa: cedrorana (*Vochysia maxima*), Cuia: cuiarana (*Terminalia amazonia*), Cuma: cumaru (*Dipteryx odorata*), Cupiu: cupiúba (*Goupia glabra*), FavaTimb: fava timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Garap: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Itaú: itaúba (*Mezilaurus itauba*), Jara: jarana (*Lecythis lurida*), Jato: jatobá (*Hymenaea courbaril*), JutaíMi: jutaí mirim (*Hymenaea parvifolia*), MacaRan: maçaranduba (*Manilkara elata*), ManRosa: mandioqueira rosa (*Qualea dinizii*), Muira: muiracatiara (*Astronium lecointei*), Quarú: Quaruba (*Erismia uncinatum*), Sapu: sapucaia (*Lecythis pisonis*), Tauga: tauari (*Couratari guianensis*).

#### 4. DISCUSSÃO

Em geral as diferenças angulares entre a queda planejada e queda efetiva, demonstraram que 75% das árvores derrubadas obtiveram sucesso de 96,67% de concordância no ângulo de queda planejado. Quando houve uma maior amplitude de erro no ângulo de planejamento, apenas 25% das árvores apresentou erro inferior a 20% da direção de queda planejada. Entretanto o mesmo comportamento também foi observado entre a direção queda natural e direção queda planejada. Quando a queda planejada foi igual a queda natural, essa correspondeu em 100% de acerto de queda efetiva em 75% das árvores, enquanto a queda planejada coincidiu com queda efetiva em 96,67%. Apenas 25% das árvores planejadas nesse sentido apresentaram mudança do ângulo de queda em até 15%.

Considerando as diferenças angulares de QPE%, QNP%, QNE% entre as espécies, observou-se que em mais de 50%, as árvores foram derrubadas na direção de queda natural ou para uma direção bem próxima a natural.

O PCA conseguiu explicar 65,37% da variação total dos dados originais, dos quais 45,51% foram explicados pela a Dim.1 e 19,87% pela Dim.2. E as correlações das variáveis envolvidas na derruba direcionada apresentaram em geral, valores de correlação moderada à forte (COHEN, 1978; Dancey e Reidy (2019).

Os grupos de variáveis G1 (dendrométricas: DAP, área basal, volumes) e G2 (tempos relacionados a derruba e direções de queda) apresentaram maior correlação com os componentes principais por estarem próximas da Dim.1. O G1 apresentou maior proximidade entre seus vetores, indicando maior intercorrelação entre variáveis. O G1 apresentou maior comprimento em seus vetores, se comparados aos vetores das variáveis do G2, indicando boa representatividade na primeira dimensão dos componentes principais. Quanto maior o comprimento do vetor da variável maior é a sua importância (PERERIA et al., 2010).

Valores positivos e negativos de correlação indicam relações direta e inversamente proporcionais entre variáveis, respectivamente (BECKER, 2015). Variáveis com mesmo sinal atuam de forma conjunta, aumentando ou diminuindo no mesmo sentido e variáveis com sinais contrários atuam de forma inversa, ou seja, quando o valor de uma aumenta, o valor da outra diminui (TOBAR-TOSSE et al., 2015).

A exemplificar, as variáveis dendrométricas (DAP, VolArv; VolGal), correlacionaram-se inversamente às variáveis de tempo e direção da queda das



árvores. Pela proximidade da variável danos (Danos), pode-se estabelecer uma relação direta desta variável com as demais anteriormente mencionadas. Evidenciando que quanto maiores forem os valores de diâmetro (DAP), área basal (Basal) e volumes (VolArv e VolGal) dessas espécies, maiores serão os danos provocados após a queda das árvores dessas espécies. Segundo Rocha e Pereira (2015) a distribuição das variáveis pelos componentes principais permite verificar as relações que estas apresentam entre si, por meio da distância angular entre os vetores dessas variáveis, denominadas de intercorrelação.

Como a variável danos (Danos) se apresentou em oposição à variável densidade básica da madeira (Db), então não há relação direta entre estas variáveis. Mostrando que o número de árvores danificadas pela derruba direcionada não está relacionado à densidade da madeira das árvores derrubadas e sim pelas suas características dendrométricas.

O valor da variável danos aumentou no mesmo sentido das variáveis dendrométricas do G1, indicando que quanto maiores forem os valores de diâmetro, área basal, volume (fuste e galhos), maiores serão os danos ocasionados pela derruba direcionada. Essa mesma condição foi observada num levantamento sobre danos ocasionados pela exploração florestal conduzida na Bolívia, Jackson et al., (2002) onde o diâmetro das árvores derrubadas foi considerado significativamente correlacionado com o número de árvores danificadas.

Quando o valor das variáveis dendrométricas aumenta, a diferença angular entre a direção de queda natural e queda planejada tende a ser menor, devido as árvores com maiores dimensões permitirem uma menor amplitude no direcionamento de queda. Indiretamente indica que para as árvores de grandes dimensões os ângulos de derruba planejada sempre serão muito próximos aos ângulos direcionais da queda natural. As dimensões da árvore constituem a principal característica que influencia a derruba de árvores (CÂMPU e CIUBOTARU, 2017). Na Bolívia, Krueger (2004) observou que o erro no direcionamento de queda das árvores aumenta juntamente com as classes de diâmetro, porém esse aspecto não pode ser completamente confirmado, devido a isso ocorrer com mais frequência em algumas espécies. Nikooy et al., (2013) conduzindo uma pesquisa sobre os fatores que afetam a derruba direcionada em uma floresta no Irã, observaram que além do diâmetro, o volume da árvore também influencia o erro na derruba direcionada, devido elas estarem bastante correlacionadas.

Estes autores também observaram que os maiores erros no direcionamento de queda ocorreram de maneira mais evidente em duas espécies de árvores, as quais apresentavam grandes dimensões (diâmetro e volume) nos fustes e assimetria em suas copas, o que dificultava a avaliação do direcionamento de queda. Em um estudo sobre os ângulos de cortes empregados na derruba direcionada, na região do Apalache nos Estados Unidos, Koger (1983) observou que o diâmetro influenciava significativamente na determinação dos ângulos de corte através de equações de regressão.

Possivelmente, quando árvores apresentam grandes dimensões, o QNP% diminui, devido a árvore alcançar grandes diâmetros, área transversal, volume de fuste e de galhos e uma razoável altura, pode-se afirmar que na maioria das vezes o fuste destas árvores tem uma menor inclinação e que seus galhos tendem a ser mais bem distribuídos.

Grandes dimensões de fuste e galhos na copa são indicadores de árvores dominantes e de dossel, nessa condição não apresentam competição de luz e crescem com robustez. Por outro lado, copas assimétricas são resposta de mudanças ocorridas no nível do dossel, por meio de lacunas que se abrem sucessivamente acima e ao lado das copas, favorecendo o crescimento a uma taxa mais rápida (HALLE et al., 1978). Árvores de menores dimensões, tendem a concentrar seus galhos em um determinado lado da copa, na tentativa de aproveitar melhor a luminosidade que vem de possíveis aberturas do dossel da floresta. A assimetria de copas das árvores é bastante comum em floresta tropical (YOUNG e HUBBELL, 1991) e essa ocorrência se faz mais presente em árvores de menor porte, contrapondo-se às árvores emergentes que apresentam copas com galhos mais bem distribuídos (TURNER, 2004).

O tamanho do vetor QNP% mostra que essa situação foi bem representada no sistema de coordenadas dos componentes principais. O valor de correlação da variável QNP% com o segundo eixo principal, mostra uma correlação inversamente proporcional com as variáveis do G1 e G2, mais especificamente com as variáveis do grupo G1, por estas variáveis estarem a uma distância maior que 90 graus. O ângulo entre os vetores indica como os grupos estão correlacionados. Variáveis altamente correlacionadas tendem a ficar juntas e na mesma direção (KENT, 2012). Se o ângulo entre duas variáveis é pequeno, eles têm uma correlação positiva alta, se próximos a

90 graus, eles não estão correlacionados, e se entre 90 graus e 180 graus, eles estão negativamente correlacionados (SANTOS et al., 2019).

Os vetores das variáveis QNE% e QPE% apresentaram proximidade, indicando uma maior correlação se comparados com a variável QNP%. O vetor da variável altura (altura comercial) mostrou um tamanho menor, se comparado aos dos demais vetores das variáveis nos grupos G1 e G2. Possivelmente o valor de correlação dessa variável pode ter sido afetado por considerar a altura referente a primeira bifurcação (altura comercial) e não a altura total, incluindo a copa da árvore. De maneira geral árvores a partir de 50 cm de diâmetro atingem a altura máxima e desta maneira o comprimento dos fustes diferem pouco entre as árvores (d'OLIVEIRA e BRAZ, 1995).

O tempo de planejamento apresenta uma variação muito grande em campo, devido essa variável incluir o tempo de todas as atividades que antecedem a execução do corte direcionada. O tempo de corte apresentou maior variação, enquanto o tempo de planejamento apresentou menor variação, de modo que o tempo de planejamento está mais correlacionado com o tempo de derruba do que com o tempo de corte. O tempo de derruba é o tempo de todas as operações até o momento de a árvore cair no chão. Quanto maior o tempo de planejamento, maior o tempo de derruba de uma árvore. A análise do tempo na atividade derruba de árvores tem um papel importante na identificação dos fatores limitantes desta atividade e de medidas técnicas e tecnológicas que conduzam a um aumento do nível de produtividade (CÂMPU e CIUBOTAR,2017).

A variável tempo de derruba (Derruba) composta destas variáveis tempo de planejamento e tempo de corte foi influenciado diretamente pelas variáveis do G1, indicando que quanto maiores forem os valores de diâmetro (DAP), área basal (Basal) e volume (VolArv), maior será o tempo de corte.

A influência do DAP no tempo de corte e no tempo total de derruba também foi constatada em estudos conduzidos nas florestas das regiões do Arkansas (LORTZ et al., 1997) e na Cordilheira Apalache nos Estados Unidos (WANG et al., 2004), nas Florestas do Cáspio no Irã (BEHJOU, 2012; JOURGHOLAMI et al., 2013) e na região do estado do Mato Grosso no Brasil (ACOSTA et al.,2018), os quais se destinavam ao levantamento de custos de produtividade na exploração florestal utilizando motosserras. Entretanto sobre o tempo envolvido nas operações de derruba direcionada são difíceis de serem comparados, devido às diferenças nas metodologias de execução (CÂMPU e CIUBOTARU, 2017).

Os vetores das variáveis tempo de planejamento, corte e derruba aumentaram no mesmo sentido, proporcionalmente a sua participação na atividade de derruba direcionada, ou seja, o tempo de planejamento foi menor que o tempo de corte.

Quanto menor for o tempo de corte da árvore, maior será a possibilidade de cair no sentido de queda natural. Enquanto que um tempo de corte maior, executando de maneira mais cuidadosa, poderá favorecer a queda da árvore no sentido de queda planejada. E quanto maior o tempo de planejamento maior será a chance da árvore cair no sentido de queda planejado pelo motosserrista. Esses resultados indicam a perspicácia de aplicação de técnicas adequadas na derruba de árvores, visto que quanto maiores forem os tempos de corte e de planejamento maiores serão as chances da árvore cair no sentido desejado.

As espécies cedrorana (CedroRa), quaruba (Quaru) e angelim pedra (AngePedra) apresentaram maior relação com a Dim.1 e por conseguinte, com as variáveis diâmetro (DAP), área basal e volume (fuste e galhos), sendo que angelim pedra apresentou maior correlação com as variáveis volume (VolArv) e diâmetro (DAP). Pela posição do vetor da variável danos (Danos), pode-se estabelecer uma relação direta desta variável com as demais anteriormente mencionadas. Evidenciando que quanto maiores forem os valores de diâmetro (DAP), área basal (Basal) e volume (VolArv e VolGal) dessas espécies, maiores serão os danos provocados após a queda dessas árvores. Como a variável danos (Danos) se apresentou em oposição à variável densidade básica da madeira (Db), então não há relação direta entre estas variáveis. Mostrando que o número de árvores danificadas pela derruba direcionada não está relacionado à densidade da madeira das árvores derrubadas e sim pelas dimensões. Em colaboração a esses resultados, Nikooy et al. (2013) relatou que árvores de grandes dimensões, influenciam no aumento do erro na derruba direcionada e conseqüentemente em maiores valores de danos.

As espécies muiracatiara (Muir) e jatobá (Jato) apresentaram os maiores valores de altura comercial, o que identificou uma maior correlação com a variável altura comercial (Altura), mostrando que essa variável influenciou diretamente na derruba direcionada das árvores destas espécies.

As espécies mandioqueira rosa (ManRosa), cuiarana (Cuia) e garapeira (Garap) estiveram mais correlacionadas com o Dim.2, onde se destacou a variável QNP%. Simultaneamente essas espécies apresentaram relação com a variável tempo

de planejamento. Essa correlação mostrou que as árvores dessas espécies possivelmente foram planejadas para cair no sentido da queda natural.

Fava timborana (FavaTimb), cumaru (Cuma), jutai mirim (JutaiMi) e muiracatiara (Muir) estiveram mais correlacionadas com o Dim.1, onde sofreram influência direta de suas densidades de madeira no processo de derruba direcionada. Outras espécies tais como, itaúba (Itau), jarana (Jara), maçaranduba (MacaRan) e cupiúba (Cupiu) apresentaram comportamento similar, porém com menor influência da variável densidade da madeira (Db). De maneira geral esse comportamento mostrou que as árvores destas espécies foram mais influenciadas pelas densidades de suas madeiras e por suas menores dimensões (diâmetro, volume e área basal).

Quanto maior for a densidade da madeira das árvores dessas espécies e menores forem suas dimensões, menores serão os danos causados em árvores vizinhas, devido a facilidade no direcionamento. Árvores com maiores diâmetros e com menor densidade de madeira, podem ser mais difíceis de serem direcionadas, por sofrerem mais com as ações de possíveis interferências externas à derruba.

Tauari (Taua) e sapucaia (Sapu) se correlacionaram mais com o Dim.2 e juntamente com as espécies muiracatiara (Muir), itaúba (Itau) e cupiúba (Cupiu) apresentaram menores correlações com os tempos de planejamento, corte e derruba. O mesmo ocorreu em relação aos vetores das variáveis QNE% e QPE%, mostrando que essas espécies não seguem um padrão definido quando são aplicadas as técnicas de direcionamento de queda. Importante observar, que essas espécies com a exceção a itaúba tem predominância de formação de sapopemas altas.

## **5. CONCLUSÃO**

A Análise de Componentes Principais evidenciou a formação de dois grupos de variáveis, as variáveis de natureza dendrométrica e as variáveis de natureza operacional. As variáveis dendrométricas, tais como o diâmetro (DAP), área basal (Basal), volume da árvore (VolArv), volume dos galhos (VolGal) apresentaram maiores valores de correlação com os componentes principais se comparadas com as variáveis do tipo operacionais, tais como o tempo (Planejamento, Corte e Derruba) e percentuais de aproximação entre os ângulos de queda (QNP%, QPE%, QNE%). Com relação a estas últimas variáveis, observou-se que em mais de 50% das observações, as árvores foram derrubadas para a direção de queda natural ou bem próxima da direção natural.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. *WIREs Computation Statistic*, John Wiley & Sons, Inc. 2:433-459. 2010.
- ACOSTA, F. C.; OLIVEIRA, D. C.; ARRUDA, C.; GARCIA, M. L.; MELO, R. R. Operational Performance of the Selective Cutting of Trees With Chainsaw. *Floresta e Ambiente*, 25(3): e20160239. 2018.
- AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. *Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia*. Belém: IMAZON. 1998.
- ANDRADE, D.F.C., GAMA, J.R.V., RUSCHEL, A.R., MELO, L.O., AVILA, A.L., CARVALHO, J.O.P. 2019. Post-fire recovery of a dense ombrophylous forest in Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920170840>
- BECKER, J.L. *Estatística Básica: Transformando Dados em Informação (Métodos de Pesquisa)*. Editora Bookman.2015.504p.
- BEEN, A.; CRUBILE, P.; STREHLKE, B.; Food and Agriculture Organization of the United Nations; International Labour Organisation, Rome: FAO; FAO Training series n.2, 1980. 100 p.
- BEHJOU, F. K.; MAJNOUNIAN, B.; DVOŘÁK, J.; NAMIRANIAN, M.; SAEED, A.; FEGHHI, J. Productivity and cost of manual felling with a chainsaw in Caspian forests. *Journal of Forest Science*, 55(2): 96-100. 2009.
- BEHJOU, F.K. Effect of selective cutting type on the chainsaw productivity in Caspian Forests. *Journal of Forestry Research*, 23(4):699–702. 2012.
- BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J.G.; LANDIM, P.M.B.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; Manzatto, A.G.; Bastos, W.R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, 23(1): 001-158, 2009.
- BICKNELL, J. E.; STRUEBIG, M. J.; EDWARDS, D. P.; DAVIES, Z. G. Improved timber harvest techniques maintain biodiversity in tropical forests. *Current Biology*, vol. 24, n.23, p.1119 - 1120, 2014.
- BICKNELL, J. E.; STRUEBIG, M. J.; DAVIES, Z. G. Reconciling timber extraction with biodiversity conservation in tropical forests using reduced-impact logging. *Journal of Applied Ecology*, 52 (2). p. 379-388, 2015.
- BRASIL. Decreto nº 73.684, de 19 de fevereiro de 1974. Cria a Floresta Nacional do Tapajós, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 20 fev.1974. Seção 1, p. 1987.
- BRAZ, E. M.; d'OLIVEIRA, M. V. N. Abate de árvores em floresta tropical. *Circular Técnica*, nº16, Rio Branco, AC. Embrapa-CPAFAC. 1997. 30p.

CÂMPU, V. R.; CIUBOTARU, A. Time consumption and productivity in manual tree felling with a chainsaw – a case study of resinous stands from mountainous areas. *Silva Fennica*, v. 51(2): 1-19. 2017.

CARNEIRO, F.S; RUSCHEL, A. R.; FREITAS, L. J. M.; PINHEIRO, K.A.O.; SANTOS, J. C.; D'ARACE, L. M. B.; COELHO, F. A. Densidade da madeira de espécies florestais de quatro áreas experimentais da Amazônia oriental brasileira. Atena Editora, Ponta Grossa, PR. 2020. 56p.

CARVALHO, J.O.P. A estrutura de matas altas sem babaçu na Floresta Nacional do Tapajós. In: SILVA, J.N.S.; CARVALHO, J.O.P.; YARED, J.A.G. (Eds.). *A silvicultura na Amazônia Oriental: Contribuições do Projeto EMBRAPA / DFID*. Belém: Embrapa, 2001. p. 277- 290.

CEDERGREN, J.; FALCK, J.; GARCIA, A.; GOH, F.; HAGNER, M. Feasibility and usefulness of directional in a tropical rain forest. *Journal of Tropical Forest Science*, 14(2):179-190. 2002.

COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Lawrence Erlbaum Associates. 1988.567p.

COOPERATIVA MISTA DA FLONA TAPAJÓS. *Plano Operacional Anual: Unidade de Produção Anual nº13*. 2018.

DANCEY, C.; REIDY, J. *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows*. Ed. Penso, 2019. 624p.

d'OLIVEIRA, M.V.N.; BRAZ, E. M. Reduction of damage to tropical moist forest through planned harvesting. *Commonwealth Forestry Review*, 74(3): 208-210, 1995.

DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. *FAO model code of forest harvesting practice*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. ISBN 92-5-103690-X. 85p. 1996.

EDWARDS, D. P.; GILROY, J. J.; WOODCOCK, P.; EDWARDS, F. A.; LARSEN, T. H.; ANDREWS, D. J. R.; DERHÉ, M. A.; DOCHERTY, T. D. S.; HSU, W. W.; MITCHELL, S. L.; OTA, T.; WILLIAMS, L. J.; LAURANCE, W. F.; HAMER, K. C.; WILCOVE, D. S. Land-sharing versus land-sparing logging: Reconciling timber extraction with biodiversity conservation. *Global Change Biology*, vol. 20, n.1, p.183-191, 2013.

EDWARDS, D. P.; TOBIAS, J. A.; SHEIL, D.; MEIJAARD, E.; LAURANCE, W. F. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 29, n.9, p. 511- 520, 2014.

ELLIS, P. W.; PUTZ, F. E. Introduction to the special issue: Reduced-impact logging for climate change mitigation (RIL-C). *Forest Ecology and Management*, 439: 171 - 172. 2019.

FIEDLER, N.C.; SOUZA, A.P.; MINETTI, L.J. Limites recomendados de pesos manuseados por trabalhadores no corte florestal. *Revista Árvore*, Viçosa, v.24, n.4, p. 457-463, 2000.

FRAGA, A.B.; SILVA, F.L.; HONGYU, K.; SANTOS, D.S.; MURPHY, T.W.; LOPES, F.B. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein × Zebu cows. *Tropical Animal Health Prod.* DOI 10.1007/s11250-015-0985-2. 2015.

GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J.C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 28:137-153, 2004.

HALLE, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P.B. *Tropical Trees and Forests - An Architectural Analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1978. 456p.

HELENA, B.; PARDOM, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*. Vol. 34, n. 3, p. 807-816, 2000.

HOLMES, T.P.; BLATE, G.M.; ZWEEDE, J.C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F. Custos e benefícios financeiros da exploração de impacto reduzido em comparação à exploração florestal convencional na Amazônia Oriental. 2ª edição. Belém: Fundação Floresta Tropical. 2002.

HONGYU, K., SANDANIELO, V.L.M.; OLIVEIRA JUNIOR, G.J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. *Engineering and Science*, 5:1, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências (Manuais Técnicos de Geociências, 1). 2012.

INSTITUTO CHICO MENDE DE PROTEÇÃO DA BIODIVERSIDADE. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Unidades de Conservação - Amazônia: Flona do Tapajós. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/amazonia/unidades-de-conservacao-amazonia/1963-flona-do-tapajos>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Plano de Manejo - Floresta Nacional do Tapajós. Volume 1- Diagnóstico. 2019. 316p.

JACKSON, S. M.; FREDERICKSEN, T. S.; MALCOLM, J. R. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, v.166, .p.271-283, 2002.

JOHNS, J.S.; BARRETO, P.; UHL, C. Os danos da exploração de madeira com e sem planejamento na Amazônia oriental. Belém: IMAZON - Série Amazônia, N° 16. 1998.



JONKERS, W. B. J. Logging, damage and efficiency: a study on the feasibility of Reduced Impact Logging in Cameroon. Kribi (Cameroon). Final Report. 57 pp. 2000. [online] URL: <http://www.tropenbos.org/file.php/128/tcpreport00-3.pdf>.

JONKERS, W. B. J.; VAN LEERSUM, G. J. R.; VAN LEERSUM, G. J. M. Logging in south Cameroon: current methods and opportunities for improvement. *The International Forestry Review*, vol.2, n.1, SPECIAL ISSUE: REDUCED IMPACT LOGGING, pp. 11-16. 2000.

JOURGHOLAMI, M.; MAJNOUNIAN, B.; ZARGHAM, N. Performance, capability and costs of motor-manual tree felling in Hyrcanian hardwood forest. *Croatian Journal of Forest Engineering*, v.34(2): 283-293. 2013.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 187-200. 1958. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.

KASSAMBARA, A. Practical Guide To Principal Component Methods in R (Multivariate Analysis Book 2). STHDA. 2017. 264 p.

KENT, M. Vegetation description and data analysis - A apractical approach. 2nd ed. Wiley-Blackwell. John Wiley & Sons, Ltd. 2012. 435p.

KOGER, J.L. Observed methods for felling hardwood trees with chainsaws. United States Departament of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research note SO 297.7p. 1983.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classificationu pdated. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

KRUEGER, W. Effects of future crop tree flagging and skid trail planning on conventional diameter-limit logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, v.188, p. 381-393, 2004.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1): 1-18. 2008.

LOPES, E. S.; MINETTI, L.J.; SOUZA, A.P. & MACHADO, C.C. Operação e Manutenção de Motosserras – Manual Técnico. Viçosa: Editora Aprenda Fácil. 2001.

LORTZ, D.; KLUENDER, R.; McCOY, W.; STOKES, B.; KLEPAC, J. Manual felling productivity In Southern pine forests. *Forest Products Journal*, v. 47(10): 59-63. 1997.

MINETTI, L. J.; OLIVEIRA FILHO, R.F.; PINTO, L.A.A; SOUZA, A.P.; FIEDLER, N.C. Análise técnica e econômica do corte florestal planejado de floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Ocidental. *Revista Árvore*. Viçosa, v.24, n.4, p. 429 – 435, 2000.

NAGHDI, R.; NIKOOY, M.; GHAJAR, I.; ERSHADIFAR, M. A practical linear model for estimation of tree falling direction error in mountainous forests of Northern Iran. *Ecopersia*, 4(3):1505-1516. 2016.

NIKOOY, M.; NAGHDI, R.; ERSHADIFAR, M. Survey of Directional Felling and Analysis of Effective Factors on Felling Error. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. vol. 11, n.2, 177-184. 2013.

NOGUEIRA, M.M.; VIEIRA, V.; SOUZA, A.; LENTINI, M.W. Manejo de florestas naturais da Amazônia: corte, traçamento e segurança. Belém: Instituto Floresta Tropical. 2011.

OLIVEIRA, L.C.; COUTO, H.T.Z.; SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P. Efeito da exploração de madeira e tratamentos silviculturais na composição florística e diversidade de espécies em uma área de 136ha na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará. *Scientia Forestalis*, São Paulo, n. 69, p.62-76, dez., 2005.

PARROTTA, J.A.; FRANCIS, J.K.; ALMEIDA, R.R. Trees of the Tapajós – a photographic field guide. General Technical Report IITF-1, Río Piedras, Puerto Rico: United States Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 1995.

PEREIRA JUNIOR, R. A. Manual Técnico de Manejo Florestal: Guia Gerencial para a Produção responsável na Amazônia Brasileira. Belém: Instituto Natureza Amazônica, 42 p. 2003.

PEREIRA, S.A.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. *Global Science and Technology*. v.3, n.2, p.87-97, mai/ago. 2010.

PINARD, M.A.; PUTZ, F.E.; TAY, J.; SULLIVAN, T.E. Creating Timber Harvest Guidelines for a Reduced-Impact Logging Project in Malaysia. *Journal of Forestry*, v.93(10): 41-45. 1995.

PUTZ, F.E.; PINARD, M.A. Reduced-impact Logging as a carbon-offset method. *Conservation Biology*, v.7(4):755-757. 1993.

PUTZ, F. E.; ZUIDEMA, P. A.; SYNNOTT, T.; PENA-CLAROS, M.; PINARD, M. A.; SHEIL, D.; VANCLAY, J. K.; SIST, P.; GOURLET-FLEURY, S.; GRISCOM, G.; PALMER, J.; ZAGT, R. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable. *Conservation Letters*, n.5, p. 296-303, 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. URL <https://www.R-project.org/>

RÊGO, L. J. S.; MARZANO, F. L. C.; REIS, L. P.; MAZZEI, L.; REIS, P.C.M.R.; SILVA, M. L.; SOUZA, A. P. Avaliação biomecânica das atividades de corte de madeira semimecanizado na Amazônia. *Revista Espacios*, vol.38, n.19, 22-34.2017.

RINGNÉR, M. What is principal component analysis? *Nature Biotechnology*, vol. 26(3):304-304. 2008.

ROCHA, C.H.B; PEREIRA, A.M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Rev. Ambient. Água*, vol. 11, n.1, 1-12, Taubaté, jan./mar. 2016.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. 2021. URL <http://www.rstudio.com/>

SABOGAL, C.; POKORNY, B.; SILVA, J.N.; CARVALHO, J.O.P.; ZWEEDE, J.; PUERTA, R. Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2009.

SANTANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C. C. (Ed.) Colheita Florestal. 3ª Edição. Viçosa: UFV. 2014. p. 74 -105.

SANTANNA, C.M.; MALINOVSKI, J.R. Análise de fatores humanos e condições de trabalho de operadores de motosserra de minas gerais. Cerne, v.8, n.1, p.115 -121, 2002.

SANTANNA, C.M.; MALINOVSKI, J.R. Avaliação da segurança no trabalho de operadores de motosserra no corte de eucalipto em região montanhosa. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 75- 84, 1999.

SANTOS, R.O.; GORGULHO, B. M.; CASTRO, M. A.; FISBERG, R. M.; MARCHIONI, D. M.; BALTAR, V. T. Análise de componentes principais e análise fatorial: diferenças e similaridades na aplicação em epidemiologia nutricional. Revista Brasileira de Epidemiologia.22: E190041. 2019.

SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C.; SOUSA, A.P.; LEITE, H.C. Avaliação técnica e econômica do corte florestal semimecanizado em diferentes volumes por árvore e comprimento de toras. Revista Árvore, Viçosa - MG, v.24, n.4, p. 417- 422, 2000.

SCHIRMER, W. N.; CROVADOR, M.I.C; MARTINS, K. G.; FRANQUETO, R.; CABRAL, A. R.; CAPANEMA, M. A; JUCÁ, J.F.T. Análise por componentes principais para o volume de biogás gerado em aterro sanitário e a correlação com variáveis físico-químicas. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v.5, n.2, p.149-164, out.2016/mar.2017.

TEIXEIRA, G. H. A.; DURIGAN, J. F.; FERRAUDO, A. S.; ALVES, R. E.; O'HARE, T. J. Multivariate analysis of fresh-cut carambola slices stored under diferente temperatures. Postharvest Biology and Technology, 63: 91-97. 2012.

TOBAR-TOSSE, D.E.; CASTOLDI, R.; CANDIDO, W. S.; FERRAUDO, A. S.; CHARLO, H.C.O.; BRAZ, L.T. Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. Ciência Rural, Santa Maria, v.45, n.7, p.1214-1219, jul, 2015.

TURNER, I.M. The Ecology of Trees in the Tropical Rain Forest. Cambridge University press. Cambridge, United Kingdom. 2004. 298 p.

WANG, J.; LONG, C.; MCNEEL, J., BAUMGRAS, J. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in Central Appalachian hardwood forests. Forest Products Journal, v.54, n.12, p. 45-51, 2004.

WHITMORE, T. C.; BURNHAM, C. P. Tropical rainforests of the far east. 2th Ed. Clarendon Press. Oxford. 1984.354p.

YOUNG, T. P.; HUBBELL, S. P. Crown Asymmetry, Treefalls and Repeat Disturbance of Broad-Leaved Forest Gaps. Ecology, Vol.72, n.4, p. 1464 - 1471. 1991.

## CONCLUSÕES GERAIS

No presente estudo observou-se que os ângulos entre as direções de queda natural e planejada; queda planejada e efetiva; e queda natural e efetiva, apresentaram medianas com valores de 20 graus (88%), 10 graus (94,44%) e 27 (85%) graus, respectivamente. Isso demonstra que o direcionamento de queda realizado pelos operadores de motosserra é bastante suscetível à tendência de queda natural, apresentado pelas árvores.

As árvores foram direcionadas para a direção de queda natural em 29,58% (318) das vezes; na direção de queda planejada em 5,7%; e para a direção de queda natural em 4,1%. Os dados sugerem que existem um alto percentual de sobreposição com a direção de queda natural, principalmente quando a direção de queda natural se converte na direção de queda planejada. Nesse caso, se o operador acertar a derruba da árvore na direção pretendida (direção natural), a direção de queda natural se converte na direção de queda efetiva, resultando na igualdade  $QN=QP=QE$ . Entretanto essa igualdade só foi observada em 2,70% (29) das vezes, mostrando que é muito pouco frequente acertar o ângulo de queda natural em 100%.

Pode-se observar que em 59,62% (641) das situações não foi observado sobreposição completa entre os ângulos de queda. Contudo a proximidade entre ângulos foi mais de 88% ( $\approx 51\%$ ) se considerarmos 75% dos dados desta categoria, especificamente.

De outra maneira, os casos em que o operador perdeu totalmente o controle do direcionamento de queda da árvore, foi menos de 1%.

Pela análise de componentes principais, cinco variáveis apresentaram alta variabilidade: diâmetro (DAP), área basal (Basal), volume da árvore (VolArv), volume dos galhos (VolGal) na primeira dimensão dos componentes principais. O diâmetro foi a variável que apresentou maior influência na derruba direcionada, além da área basal e volumes de fuste e galhos. A densidade da madeira (Db) demonstrou maior interação com as árvores de fava timborana (FavaTimb), cumaru (Cuma), jutai mirim (JutaiMi) e muiracatiara (Muir), porém em sua maioria com indivíduos com menores diâmetros.

Considerando as diferenças angulares de QPE (%), QNP (%), QNE (%) entre as espécies, observou-se que em mais de 50%, as árvores foram derrubadas na direção de queda natural ou para uma direção bem próxima da natural.